

**STUDI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
UNIVERSITAS SEBELAS MARET KAWASAN JEBRES
SURAKARTA**

TUGAS AKHIR

Disusun sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Ahli Madya (A.Md)
pada Program Studi DIII Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Disusun Oleh:

DESTIK DWI PUSPASARI

NIM. I 8714013

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2017

HALAMAN PERSETUJUAN
STUDI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
UNIVERSITAS SEBELAS MARET KAWASAN JEBRES
SURAKARTA

Disusun sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Ahli Madya (A.Md)
pada Program Studi DIII Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Disusun Oleh :
DESTIK DWI PUSPASARI
NIM. 1 8714013

Telah disetujui untuk dipertahankan dihadapan Tim Penguji Pendadaran
Program Studi DIII Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret

Diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing

*Dpt & siapkan
untuk pendadaran -* 19/5 2017

Ir. Budi Utomo, M.T.
NIP. 19600629 198702 1 002

HALAMAN PENGESAHAN
STUDI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
UNIVERSITAS SEBELAS MARET KAWASAN JEBRES
SURAKARTA

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

DESTIK DWI PUSPASARI
NIM. 1 8714013

Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Pendadaran Program Studi DIII
Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta pada,
Rabu, 14 Juni 2017 :

1. Ir. Budi Utomo, M.T
NIP. 19600629 198702 1 002
2. Ir. Solichin, M.T
NIP. 19600110 198803 1 002
3. Ir. Sulastoro RI, M.Si
NIP. 19521105 198601 1 001





Disahkan,

Kepala Program Studi DIII Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS


Widi Hartono, S.T., M.T.
NIP. 19730729 199903 1 001

17 0 JUL 2017

HALAMAN MOTTO

“Man Jadda Wa Jadda.”

“Bersikaplah kukuh seperti batu karang yang tidak putus-putusnya dipukul ombak. Ia tidak saja tetap berdiri kukuh, bahkan ia menenteramkan amarah ombak dan gelombang itu.” (Marcus Aurelius)

“Manusia tidak merancang untuk gagal, mereka gagal untuk merancang.”
(William J.Siegel)

“Hai orang-orang yang beriman, Jadikanlah sabar dan shalatmu sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar.” (Al-Baqarah:153)

“Jangan tunda pekerjaan sampai besok apa yang engkau bisa kerjakan hari ini.”

“Orang cerdas akan lebih memilih diam dan banyak bertindak.”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala puja dan puji syukur kepada Allah SWT atas berkat dan karunia-Nya dan dukungan serta doa dari orang-orang tercinta, akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia saya mempersembahkan rasa syukur dan terima kasih kepada:

1. **Bapak dan Ibu**, yang telah memberikan dukungan moril, materi, doa, harapan, dan semangat yang tiada hentinya Engkau berikan kepadaku. Yang selalu mengingatkan sholat dan jangan pernah menyerah. Kata terima kasih rasanya tidak akan cukup atas jasa yang Engkau berikan selama ini.
2. **Ir. Budi Utomo, M.T.** yang telah membimbing dan memberi pengarahan dengan sabar sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. **#SusuSasaPatangkaPatangki (Vega, Oni, Lukky, Akbar, Hakim, Eko)** terima kasih atas semangat, dukungan, suka, duka, kebersamaan, canda tawa, kehangatan yang telah kita lewati bersama selama 3 tahun ini. Semoga persahabatan dan silaturahmi kita akan tetap terjalin sampai suatu saat nanti.
4. **#WismaLiya1**, terima kasih atas semangat, canda tawa, kebersamaan di kala penat mengerjakan tugas selama 3 tahun bersama, sama-sama menjadi pendatang untuk memperoleh ilmu dari kota yang berbeda.
5. **#InfrastrukturPerkotaan2014**, terima kasih atas kebersamaan selama 3 tahun ini, semoga kedepannya tetap solid dan silaturahmi diantara kita tetap terjalin.
6. **Sri Wahyuni**, terima kasih sudah menjadi partner selama pengujian laboratorium Tugas Akhir ini, terima kasih sudah bersama berjuang dari awal dari pengambilan sampel, pengujian, dan yang lainnya.

ABSTRAK

Destik Dwi Puspasari, 2017. STUDI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) UNIVERSITAS SEBELAS MARET KAWASAN JEBRES SURAKARTA, Tugas Akhir D3 Teknik Sipil Infrastruktur Perkotaan Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Air limbah domestik merupakan air buangan yang berasal dari kegiatan permukiman. Peningkatan jumlah penduduk mengakibatkan meningkatnya konsumsi pemakaian air minum atau air bersih yang berdampak pada peningkatan jumlah air limbah. Dampak dari air limbah yang tidak dapat diolah dengan benar yaitu mengakibatkan penurunan kualitas air sungai dan menimbulkan bau yang tidak sedap khususnya di lingkungan kampus Universitas Sebelas Maret. Sehingga diperlukan suatu sistem pengolahan limbah kawasan yang berbasis lingkungan yaitu Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Universitas Sebelas Maret Kawasan Jebres Surakarta.

Tujuan penelitian studi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yaitu untuk mengetahui proses pengolahan air limbah domestik dan mengetahui kinerja IPAL.

Metodologi penelitian yang digunakan yaitu metode studi observasi dengan cara pengamatan langsung meliputi proses pengolahan yang ada di IPAL dan penyelidikan parameter air limbah.

Hasil penelitian berupa proses pengolahan IPAL UNS yaitu air buangan akan ditampung sementara di bak pengumpul, kemudian menuju ke bak equalisasi yang berfungsi sebagai penyeragaman kuantitas aliran limbah. Setelah itu, menuju ke bak pengendap awal yang berfungsi mengendapkan partikel lumpur, pasir, dan kotoran organik. Proses selanjutnya adalah bak biofilter anaerob yang dilengkapi sarang tawon sebagai media tumbuh dan melekatnya bakteri dalam mendegradasi zat organik dari limbah cair. Dari bak biofilter anaerob lalu menuju bak biofilter aerob yang berfungsi mendegradasi materi organik secara aerob. Setelah itu bak pengendap akhir yang berfungsi mengendapkan partikel air buangan yang belum terendapkan pada pengolahan sebelumnya dengan waktu tinggal mulai dari bak pengumpul sampai bak pengendap akhir kurang lebih 16 jam. Proses utama terdapat pada biofilter anaerob dan biofilter aerob dengan waktu tinggal selama 9,7 jam. Nilai efisiensi pada COD permanganat, BOD, dan TSS berturut-turut yaitu 49,75 %, 74,46 %, dan 52,69 %.

Kata Kunci:

air limbah, IPAL, parameter, kinerja.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas karunia-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan pembuatan laporan Tugas Akhir dengan baik dan selesai tepat pada waktunya.

Dalam kesempatan ini, tidak lupa penyusun mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, yaitu kepada :

1. Ir. Budi Utomo, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orangtua yang telah memberikan semua sarana dan prasarana untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.
3. Rekan-rekan D-III Teknik Sipil Infrastruktur Perkotaan 2014.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman serta masih kurangnya pemahaman yang penyusun miliki sehingga dalam penyusunan laporan ini banyak kekurangan, maka penyusun berharap dengan segala kerendahan hati untuk kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak.

Akhir kata penyusun berharap semoga laporan ini berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Surakarta, Juni 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.1.1 Pengertian Air Buangan Domestik	5
2.1.2 Kandungan Air Buangan Domestik.....	6
2.1.3 Karakteristik Air Buangan	7
2.1.4 Pengelolaan Air Buangan	10
2.1.5 Sistem Penyaluran Air Buangan	11
2.1.6 Baku Mutu Air Buangan.....	13
2.1.7 Proses Pengolahan Air Buangan.....	14
2.1.8 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)	26

2.2	Landasan Teori	35
2.2.1	Proses Biofilter	35
2.2.2	Proses Pengolahan Air Buangan dengan Biofilter Anaerob-Aerob	38
2.2.3	Pengujian COD, BOD, dan TSS	42
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	48
3.1	Persiapan.....	48
3.2	Lokasi Penelitian	48
3.3	Pengumpulan Data.....	49
3.4	Metode Penelitian	50
3.5	Analisis Data.....	50
3.6	Diagram Alir	50
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1	Gambaran Umum Unit Operasi IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta	52
4.2	Hasil Pengumpulan Data	53
4.3	Sistem Pengolahan IPAL Universitas Sebelas Maret	55
4.3.1	Bak Pengumpul.....	55
4.3.2	Bak Equalisasi	56
4.3.3	Bak Pengendap Awal.....	57
4.3.4	Bak Biofilter Anaerob.....	58
4.3.5	Bak Biofilter Aerob	59
4.3.6	Bak Pengendap Akhir	60
4.4	Kinerja IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta	61
4.5	Efisiensi IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta	67
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Air Buangan Domestik.....	6
Tabel 2. 2 Keuntungan dan Kerugian Sistem Off-site	11
Tabel 2. 3 Baku Mutu Air Limbah Domestik Tahun 2016	13
Tabel 2. 4 Baku Mutu Air Limbah Domestik Tahun 2014	14
Tabel 2. 5 Pengujian Fisika dan Kimia IPAL Mojosongo	29
Tabel 2. 6 Hasil Pengujian Sampel <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> IPAL Semanggi.....	33
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sampel <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> IPAL UNS Maret 2017	63
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sampel <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> IPAL UNS April 2017	63
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sampel <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> IPAL UNS Mei 2017	64
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sampel <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> IPAL UNS rata-rata Maret-Mei 2017	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi Proses Pengolahan Air Limbah Secara Biologis	17
Gambar 2. 2 Diagram Proses Pengolahan Air Buangan dengan Proses Lumpur Aktif Konvensional	19
Gambar 2. 3 Proses Pengolahan Air Buangan dengan Sistem <i>Trickling Filter</i>	22
Gambar 2. 4 Unit Pengolahan RBC (<i>Rotating Biological Contactor</i>).....	25
Gambar 2. 5 Mekanisme Proses Metabolisme Di Dalam Proses Dengan Sistem Biofilm	35
Gambar 2. 6 Metode Aerasi untuk Proses Pengolahan Air Buangan dengan Sistem Biofilter Tercelup.....	37
Gambar 2. 7 Media Sarang Tawon.....	37
Gambar 2. 8 Skema Proses Pengolahan Air Buangan Rumah Tangga (Domestik) dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob	39
Gambar 2. 9 Proses Penghilangan Phospor oleh Mikroorganisme di Dalam Proses Pengolahan “Anaerob-Aerob”	41
Gambar 3. 1 Lokasi IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta.....	49
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	51
Gambar 4. 1 Urutan Proses Pengolahan pada IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta....	52
Gambar 4. 2 Denah dan Potongan Denah IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta	53
Gambar 4. 3 Bak Pengumpul.....	56
Gambar 4. 4 Bak Equalisasi	57
Gambar 4. 5 Bak Pengendap Awal.....	58
Gambar 4. 6 Bak Biofilter Anaerob	59
Gambar 4. 7 Bak Biofilter Aerob	60
Gambar 4. 8 Bak Pengendap Akhir.....	61
Gambar 4. 9 Air Sampel pada Bak Pengumpul.....	61
Gambar 4. 10 Air Sampel pada Bak Pengendap Akhir	62
Gambar 4. 11 Pengujian Sampel di Laboratorium	62
Gambar 4. 12 Diagram Perbandingan Hasil Uji Inlet dan Outlet.....	65

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Gaya hidup masyarakat yang telah berubah dan pertumbuhan penduduk yang begitu cepat terutama di wilayah perkotaan memberikan dampak yang sangat serius terhadap penurunan daya dukung lingkungan. Dampak tersebut harus disikapi dengan tepat khususnya dalam pengolahan limbah. Kenaikan jumlah penduduk tersebut mengakibatkan meningkatnya konsumsi pemakaian air minum atau air bersih yang berdampak pada peningkatan jumlah air limbah. Terlebih lagi sebagian besar pengolahan limbah di daerah permukiman sering menggunakan cara konvensional. Limbah yang tidak dapat diolah dengan benar dapat mengakibatkan berbagai masalah seperti permasalahan kesehatan akibat bau yang tidak sedap, pencemaran air, dan penurunan kualitas sungai. Bahkan dapat mengakibatkan berbagai macam penyakit baik menular maupun tidak menular. Oleh sebab itu, pengolahan limbah yang tepat sangat penting bagi sanitasi lingkungan.

Air buangan merupakan air bekas pemakaian, baik pemakaian rumah tangga maupun pemakaian dalam proses dan operasi industri. Air pemakaian rumah tangga, tidak hanya dalam rumah tinggal, tetapi juga dalam kantor-kantor institusional, hotel, tempat hiburan, daerah komersial, bahkan dalam lingkungan industri pun ada pemakaian air untuk rumah tangga, yaitu dari fasilitas saniter seperti bak cuci (dapur, tangan), kamar mandi (bak air/bak rendam/pancuran), kamar kecil (WC, peturasan), dan lain sebagainya. Air bekas pemakaian rumah tangga dapat disebut dengan air limbah domestik. Sedangkan air bekas pemakaian proses dan operasi industri dapat disebut dengan air limbah industri (Hardjosuprpto, 2000:1).

Kelurahan Jebres adalah kelurahan yang terdapat di Kecamatan Jebres yang merupakan kelurahan dengan jumlah penduduk terbesar sekecamatan Jebres dengan jumlah 33.925 jiwa. Kelurahan Jebres mempunyai luas sekitar 432 Ha

belum terdapat suatu pelayanan perpipaan saluran air limbah. Di kawasan kelurahan Jebres terdapat universitas terbesar di kota Surakarta yaitu Universitas Sebelas Maret. Universitas tersebut pada Tahun 2016 menampung 32.612 mahasiswa, 1.667 tenaga kependidikan dan 1.486 karyawan. Di setiap gedung Universitas Sebelas Maret menggunakan sistem pembuangan *on site* yaitu pembuangan yang dialirkan ke *septic tank* dengan pengurasan secara berkala, sedangkan limbah kamar mandi, limbah dari tempat pencucian dan limbah dari tempat ibadah disalurkan langsung tanpa pengolahan menuju saluran drainase Universitas Sebelas Maret. Selain itu, saluran drainase Universitas Sebelas Maret juga menerima limbah yang berasal dari warga di beberapa wilayah di kelurahan Jebres dan kampus ISI. Oleh sebab itu, sistem pengolahan yang seperti itu dapat memperburuk kualitas Sungai Bengawan Solo sebagai badan air penerima saluran drainase Universitas Sebelas Maret.

Dari penyebab tersebut Universitas Sebelas Maret membutuhkan suatu sistem pengolahan limbah kawasan yang berbasis lingkungan sehingga dapat meningkatkan kualitas lingkungan. Salah satu cara untuk mengolah limbah tersebut dengan menerapkan pengolahan berbasis Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yaitu unit pengolahan yang mengolah limbah dengan metode-metode kimia tertentu sehingga limbah dapat memenuhi persyaratan agar bisa dibuang dengan tujuan limbah hasil pengolahan tidak mencemari lingkungan. Pengolahan limbah dengan IPAL merupakan pengolahan sistem terpusat (*off site*). Pengolahan *off site* merupakan pengolahan limbah dengan cara air limbah tersebut seluruhnya dialirkan dan ditampung ke dalam bak penampung, kemudian diolah sehingga sesuai dengan syarat baku mutu dan dibuang ke tempat pembuangan terpadu. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian di IPAL Universitas Sebelas Maret Surakarta.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana proses pengolahan air limbah domestik di IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta ?
2. Bagaimana kualitas air limbah domestik di aliran *inlet* dan *outlet* IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta ?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini tidak terlalu melebar maka permasalahan yang dibahas dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Kajian ini hanya dalam lingkup IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta.
2. Membahas mengenai proses pengolahan air limbah domestik pada IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta.
3. Sampel air limbah yang diambil dari *inlet* dan *outlet* di IPAL Universitas Sebelas Maret Surakarta.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah di atas, penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui proses pengolahan air limbah domestik di IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta.
2. Mengetahui kualitas air limbah domestik di aliran *inlet* dan *outlet* IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, penelitian ini diharapkan mempunyai manfaat sebagai berikut :

1. Dapat menjadi acuan untuk melakukan penelitian yang sejenis dalam pengembangan teknik pengolahan air limbah domestik.
2. Memberikan informasi kepada masyarakat mengenai pemantauan kualitas air dan pentingnya pengolahan air limbah domestik.
3. Dengan adanya IPAL sehingga terdapat penyedia pengolahan limbah yang baik untuk daerah Universitas Sebelas Maret dan Kelurahan Jebres khususnya RW 10 hingga RW 14.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Pengertian Air Buangan Domestik

Limbah cair adalah gabungan atau campuran dari air dan bahan pencemar yang terbawa oleh air, baik dalam keadaan terlarut maupun tersuspensi yang terbuang dari sumber domestik (perkantoran, perumahan, dan perdagangan), sumber industri dan pada saat tertentu tercampur dengan air tanah, air permukaan atau air hujan (Soeparman dan Suparmin, 2002).

Air limbah domestik adalah air buangan yang berasal dari usaha atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (*restaurant*), perkantoran, perniagaan, apartement dan asrama (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003).

Air buangan adalah semua cairan yang dibuang, yang mengandung kotoran manusia, hewan, bekas tumbuh-tumbuhan maupun yang mengandung sisa-sisa proses produksi. Adapun air buangan dapat dibagi menjadi 4 golongan yaitu :

1. Air kotor/air buangan domestik

Air buangan yang berasal dari *closet*, peturasan, dan air buangan yang mengandung kotoran manusia.

2. Air bekas

Air buangan yang berasal dari kamar mandi, dapur, dan bak cuci tangan.

3. Air hujan

Air buangan dari atap rumah atau halaman yang berasal dari air hujan.

4. Air buangan khusus atau air buangan non-domestik

- a. Air buangan yang mengandung gas, racun. Atau bahan-bahan berbahaya.

- b. Air buangan yang bersifat radio aktif atau mengandung bahan radio aktif yang dibuang ke badan air penerima.
- c. Air buangan yang mengandung banyak lemak, biasanya berasal dari restoran.

2.1.2 Kandungan Air Buangan Domestik

Air buangan domestik yang berasal dari permukiman terutama terdiri dari tinja, air kemih dan air buangan lain (kamar mandi, dapur, cucian) yang kira-kira mengandung 99,9% air dan 0,1% zat padat. Zat padat yang ada terbagi atas lebih kurang 70% zat organik dan sisanya 30% zat anorganik terutama pasir, garam-garaman, dan logam (Sugiharto, 1987). Komposisi dari air buangan domestik dapat dilihat pada Tabel 2.1 seperti di bawah ini:

Tabel 2. 1 Komposisi Air Buangan Domestik

Kontaminan	Satuan	Konsentrasi		
		Maksimum	Rata-rata	Minimum
Padatan total (TS)	mg/l	1200	720	350
Padatan terlarut total (TDS)	mg/l	850	500	250
Padatan tersuspensi total (TSS)	mg/l	350	220	100
BOD	mg/l	400	220	110
COD	mg/l	1000	500	250
Nitrogen	mg/l	85	40	20
Fosfor	mg/l	15	8	4
Klorida	mg/l	100	50	30
Sulfat	mg/l	50	30	20
Lemak	mg/l	150	100	50
Total Coliform	mg/l	10^7 - 10^9	10^7 - 10^9	10^6 - 10^7

(Sumber: Metcalf dan Eddy, 2001)

2.1.3 Karakteristik Air Buangan

Karakteristik air limbah meliputi sifat-sifat fisika, kimia, dan biologi. Studi karakteristik limbah perlu dilakukan agar dapat dipahami sifat-sifat tersebut walaupun tidak termasuk golongan berbahaya tapi sangat sensitif terhadap lingkungan. Dalam menentukan karakteristik limbah maka ada tiga jenis sifat yang perlu diketahui antara lain: (Ginting, 2007)

1. Karakteristik Fisik

Sifat fisik suatu limbah ditentukan berdasarkan jumlah padatan terlarut, kekeruhan, warna, bau, dan temperatur atau suhu. Sifat-sifat ini beberapa diantaranya dapat dikenali secara visual tetapi untuk mengetahuinya secara pasti maka digunakan analisa laboratorium. Karakteristik fisik air limbah antara lain :

a. Padatan

Dalam air limbah ditemukan zat padat secara umum diklasifikasikan ke dalam dua golongan besar yaitu padatan terlarut dan padatan tersuspensi. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel koloid dan partikel biasa, padatan tersuspensi mempunyai diameter lebih besar daripada padatan terlarut.

b. Bau

Sifat bau limbah disebabkan karena zat-zat organik yang telah terurai dalam limbah mengeluarkan gas-gas seperti sulfida atau amoniak yang menimbulkan bau tidak enak bagi penciuman disebabkan adanya campuran dari nitrogen, sulfur, dan fosfor yang berasal dari pembusukan protein yang dikandung limbah. Timbulnya bau diakibatkan limbah merupakan suatu indikator bahwa terjadi proses alamiah. Dengan adanya bau ini akan lebih mudah menghindarkan tingkat bahaya yang ditimbulkannya dibandingkan dengan limbah yang tidak menghasilkan bau.

c. Suhu

Air limbah pada umumnya mempunyai suhu yang lebih tinggi daripada suhu udara setempat sehingga akan mengganggu pertumbuhan biota tertentu. Tingkat zat oksidasi lebih besar pada suhu yang tinggi dan pembusukan jarang terjadi pada

suhu yang rendah. Suhu air limbah merupakan parameter penting karena efeknya dapat mengganggu dan meningkatkan reaksi kimia kehidupan akuatik.

Temperatur yang dikeluarkan suatu limbah cair harus merupakan temperatur alami. Suhu berfungsi memperlihatkan aktivitas kimiawi dan biologis. Pada suhu tinggi pengentalan cairan berkurang dan mengurangi sedimentasi. Tingkat zat oksidasi lebih besar pada suhu tinggi dan pembusukan jarang terjadi pada suhu rendah.

d. Warna

Air limbah yang baru biasanya berwarna abu-abu, namun apabila bahan organik mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme dan oksigen terlarut hingga nol, maka air limbah tersebut berubah warna menjadi hitam. Warna dalam air limbah disebabkan adanya ion-ion logam besi dan mangan (secara alami), humus, plankton, tanaman air dan buangan industri. Warna berkaitan dengan kekeruhan dan dengan menghilangkan kekeruhan akan kelihatan warna nyata. Warna menimbulkan pemandangan yang tidak bagus dalam air limbah meskipun warna tidak menimbulkan sifat racun.

2. Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia antara lain :

a. Oksigen Terlarut (DO)

Keadaan oksigen terlarut berlawanan dengan keadaan BOD. Semakin tinggi BOD semakin rendah oksigen terlarut. Keadaan oksigen terlarut dalam air dapat menunjukkan tanda-tanda kehidupan ikan dan biota dalam perairan. Kemampuan air untuk mengadakan pemulihan secara alami banyak tergantung pada tersedianya oksigen terlarut. Angka oksigen yang tinggi menunjukkan keadaan semakin baik. Pada temperatur dan tekanan udara alami kandungan oksigen dalam air alami bisa mencapai 8 mg/lit. Aerator salah satu alat yang berfungsi meningkatkan kandungan oksigen dalam air. Lumut dan sejenis ganggang menjadi sumber oksigen karena proses fotosintesis melalui bantuan sinar matahari.

b. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD didefinisikan sebagai jumlah oksigen yang diperlukan oleh populasi mikroorganisme yang berada dalam kondisi aerob untuk menstabilkan materi organik (Qasyim, 1985). Semakin besar angka BOD menunjukkan bahwa derajat pengotoran air buangan semakin besar (Sugiharto, 1987). Parameter yang paling umum digunakan untuk pengukuran kandungan zat organik di dalam air buangan cair adalah BOD₅ yaitu pengukuran oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen* atau DO) yang digunakan mikroorganisme untuk oksidasi biokimia zat organik membutuhkan waktu 5 hari.

c. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD adalah indikator yang digunakan untuk mengetahui zat organik dan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi materi organik dengan oksidasi secara kimia (Qasyim, 1985). Nilai COD dalam air buangan biasanya lebih tinggi daripada nilai BOD karena lebih banyak senyawa kimia yang dapat dioksidasi secara kimia dibandingkan oksidasi biologi. Semakin tinggi nilai COD dalam air buangan mengindikasikan bahwa derajat pencemaran pada suatu perairan makin tinggi pula. Untuk berbagai tipe air buangan, COD dapat dihubungkan dengan BOD, mengingat tes COD hanya membutuhkan waktu 3 jam sehingga merupakan keuntungan bagi instalasi pengolahan jika melakukan tes COD dibandingkan tes BOD yang membutuhkan waktu 5 hari untuk mendapatkan hasilnya (Tchobanoglous, 1991).

d. TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS (*Total Suspended Solid*) adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2 μ m atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Yang termasuk TSS adalah lumpur, tanah liat, logam oksida, sulfida, ganggang, bakteri dan jamur. Zat yang tersuspensi biasanya terdiri dari zat organik dan anorganik yang melayang-layang dalam air, secara fisika zat ini sebagai penyebab kekeruhan pada air. Limbah cair yang mempunyai kandungan zat tersuspensi tinggi tidak boleh dibuang langsung ke badan air penerima karena

dapat menyebabkan pendangkalan dan menghalangi sinar matahari masuk ke dasar air sehingga proses fotosintesis mikroorganisme tidak dapat berlangsung.

e. pH (*Puissance d'Hydrogen Scale*)

Keasaman air diukur dengan pH meter. Keasaman ditetapkan berdasarkan tingginya konsentrasi ion hidrogen dalam air. Air buangan yang mempunyai pH tinggi atau rendah menjadikan air steril sebagai akibatnya membunuh mikroorganisme air yang diperlukan untuk keperluan biota tertentu. Demikian juga makhluk-makhluk lain tidak dapat hidup seperti ikan. Air yang mempunyai pH rendah membuat air korosif terhadap bahan-bahan konstruksi besi dengan kontak air. Limbah atau air buangan rumah tangga mempunyai pH < 7 atau bersifat asam. Adapun pH yang baik untuk air minum maupun air limbah adalah netral.

3. Karakteristik Biologi

Mikroorganisme ditemukan dalam jenis yang sangat bervariasi hampir dalam semua bentuk air limbah, biasanya dengan konsentrasi 10^5 - 10^8 organisme/ml. Kebanyakan merupakan sel tunggal yang bebas ataupun berkelompok dan mampu melakukan proses-proses kehidupan (tumbuh, metabolisme, dan reproduksi). Secara tradisional mikroorganisme dibedakan menjadi binatang dan tumbuhan. Namun keduanya sulit dibedakan. Oleh karena itu, mikroorganisme kemudian dimasukkan ke dalam kategori protista.

2.1.4 Pengelolaan Air Buangan

Dalam air buangan domestik, terdapat dua cara penanganan yaitu sebagai berikut :

1. Sistem *off-site* (terpusat)

Adalah sistem dimana air buangan dari seluruh daerah pelayanan dikumpulkan dalam riol pengumpul, kemudian dialirkan ke dalam riol kota menuju tempat pembuangan yang aman, baik dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), dan atau dengan pengenceran tertentu (*intercepting sewer*) yang memenuhi standar mutu, sehingga dapat dibuang ke badan air penerima.

Tabel 2. 2 Keuntungan dan Kerugian Sistem Off-site

Keuntungan	Kerugian
Memberikan pelayanan yang lebih nyaman	Biaya investasi tinggi
Dapat menampung semua air buangan domestik, sehingga pencemaran air di saluran drainase, badan-badan air permukaan dan air tanah dapat dihindari	Memerlukan tenaga-tenaga terampil atau terdidik untuk menangani masalah pemeliharaan
Masa pakainya lama	Sistem yang besar memerlukan perencanaan dan pelaksanaan yang panjang

(Sumber : Anonim, 1999)

2. Sistem *on-site* (setempat)

Sistem ini biasanya digunakan dalam skala kecil, tetapi ada juga yang digunakan dalam skala besar (WC Umum). Sistem *on-site* adalah sistem dimana air buangan tidak dikumpulkan dalam satu tempat, tetapi masing-masing yang mengeluarkan air buangan membuat sendiri sistem pengelolaannya, kemudian dibuang ke badan air penerima.

2.1.5 Sistem Penyaluran Air Buangan

Sistem penyaluran air buangan umumnya dibagi menjadi beberapa sistem penyaluran yang berdasarkan pada :

1. Cara Penyaluran Air Buangan

a. Sistem Penyaluran Campuran

Yaitu sistem penyaluran dimana segala macam air buangan dikumpulkan ke dalam satu saluran dan dialirkan keluar tanpa memperhatikan jenis air. Pertimbangan menggunakan sistem penyaluran ini yaitu (Soeparman, 2001):

- 1) Debit air buangan dan air hujan umumnya relatif kecil sehingga dapat disatukan.
- 2) Fluktuasi curah hujan dari tahun ke tahun relatif kecil.
- 3) Kuantitas air buangan dan air hujan yang tidak jauh berbeda.

Kelebihan dari sistem ini hanya diperlukan satu sistem penyaluran air buangan, sehingga operasi dan pemeliharaan akan lebih ekonomis, mengurangi konsentrasi pencemaran air buangan karena adanya pengenceran air hujan. Sedangkan kelemahannya adalah diperlukan perhitungan cermat dari debit air hujan dan air buangan serta lahan yang cukup luas untuk instalasi pengolahan.

b. Sistem Penyaluran Terpisah

Sistem penyaluran ini dikenal dengan “Full Sewerage” yaitu sistem penyaluran dimana segala macam air buangan dikumpulkan dan dialirkan secara terpisah sesuai jenis air. Sistem ini digunakan dengan dasar pertimbangan antara lain (Moduto, 1998) :

- 1) Adanya periode musim hujan dan kemarau yang cukup lama.
- 2) Adanya kuantitas aliran yang jauh berbeda antara air hujan dan air buangan.
- 3) Air buangan umumnya memerlukan pengolahan terlebih dahulu sedangkan air hujan secepatnya dibuang ke badan air.

Kelebihan sistem penyaluran ini adalah masing-masing memudahkan dalam konstruksi, operasi dan pemeliharaan dan mengurangi bahaya bagi kesehatan masyarakat. Sedangkan kelemahannya adalah harus dibuat dua sistem saluran sehingga diperlukan tempat yang luas (Soeparman, 2001).

2. Sistem Jaringan Penyaluran

Sistem penyaluran limbah dipengaruhi oleh letak dan topografi daerah yang dilayani. Menurut Soeparman (2001), berdasarkan sistem pengaliran penyaluran air buangan dibagi menjadi 3 yaitu :

a. Sistem Gravitasi

Dimana air buangan dari tempat yang lebih tinggi secara gravitasi dialirkan ke saluran umum yang letaknya lebih rendah.

b. Sistem Pemompaan

Dimana saluran air buangan lebih tinggi, sehingga air buangan dikumpulkan lebih dahulu dalam bak penampung kemudian dipompa ke tempat pengolahan, biasanya menggunakan pompa yang digerakkan motor listrik dan bekerja secara otomatis.

c. Sistem Kombinasi

Sistem ini digunakan apabila air buangan dari daerah pelayanan dialirkan ke bangunan pengolahan dengan bantuan pompa/*reservoir*.

2.1.6 Baku Mutu Air Buangan

Air buangan domestik yang dilepas ke lingkungan khususnya sungai haruslah memenuhi standar baku mutu air buangan domestik. Sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlh/Setjen/Kum.1/8 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Buangan Domestik menyebutkan bahwa baku mutu air buangan adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air buangan yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha atau kegiatan. Adapun baku mutu air buangan domestik dapat kita lihat pada Tabel 2.3 seperti di bawah ini.

Tabel 2. 3 Baku Mutu Air Limbah Domestik Tahun 2016

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum*
pH	-	6-9
BOD	mg/lt	30
COD	mg/lt	100
TSS	mg/lt	30
Minyak dan lemak	mg/lt	5
Amoniak	mg/lt	10
Total Coliform	Jumlah/100 ml	3000

(Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016)

Sedangkan sesuai dengan lampiran Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, antara lain berlaku bagi air limbah domestik yang bersumber dari usaha atau kegiatan permukiman (*real estate*) adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Baku Mutu Air Limbah Domestik Tahun 2014

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum*
pH	-	6-9
BOD	mg/lt	100
TSS	mg/lt	100
Minyak dan Lemak	mg/lt	10

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014

Keterangan :

* Rumah susun, penginapan, asrama, pelayanan kesehatan, lembaga pendidikan, perkantoran, perniagaan, pasar, rumah makan, balai pertemuan, arena rekreasi, permukiman, industri, IPAL kawasan, IPAL permukiman, IPAL perkotaan, pelabuhan, bandara, stasiun kereta api, terminal, dan lembaga pemasyarakatan.

2.1.7 Proses Pengolahan Air Buangan

Unit pengolahan air buangan pada umumnya terdiri dari kombinasi pengolahan fisika, kimia, dan biologi. Seluruh proses tersebut bertujuan untuk menghilangkan kandungan padatan tersuspensi, koloid, dan bahan-bahan organik maupun anorganik yang terlarut.

1. Proses Pengolahan Fisika

Proses pengolahan yang termasuk pengolahan fisika yaitu sebagai berikut:

a. Screening

Screening biasanya merupakan tahap awal proses pengolahan air buangan. Proses ini bertujuan untuk memisahkan potongan-potongan kayu, plastik, dan sebagainya. “Screen” terdiri dari atas batangan-batangan besi yang berbentuk lurus (*straight*) atau melengkung (*curved*) dan biasanya dipasang dengan tingkat kemiringan 75°-90° terhadap horizontal.

b. Grit Chamber

Grit chamber bertujuan untuk menghilangkan kerikil, pasir, dan partikel-partikel lain yang dapat mengendap di dalam saluran dan pipa-pipa serta untuk melindungi pompa-pompa dan peralatan lain dari penyumbatan, abrasi, dan *overloading*. *Grit removal* digunakan untuk mengambil padatan-padatan yang memiliki ukuran partikel lebih kecil dari 0,2 mm.

c. Sieves

Berbeda dengan screen yang menggunakan bar, *strainer* menggunakan anyaman kawat logam atau plastik, ataupun pelat berlubang. Peralatan ini biasanya digunakan dalam proses industri untuk mengembalikan bahan-bahan yang masih bermanfaat.

d. Equalisasi

Equalisasi laju alir digunakan untuk menangani variasi laju alir dan memperbaiki *performance* proses-proses selanjutnya. Di samping itu, equalisasi juga bermanfaat untuk mengurangi ukuran dan biaya proses-proses selanjutnya. Pada dasarnya, equalisasi dibuat untuk meredam fluktuasi air buangan sehingga dapat masuk ke dalam IPAL secara konstan.

e. Sedimentasi

Sedimentasi adalah pemisahan partikel dari air dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Proses ini terutama bertujuan untuk memperoleh air buangan yang jernih dan mempermudah proses penanganan lumpur. Dalam proses sedimentasi hanya partikel-partikel yang lebih berat dari air yang dapat terpisah.

f. Flotasi

Flotasi atau pengapungan digunakan untuk memisahkan padatan dari air. Unit flotasi digunakan jika densitas partikel lebih kecil dibandingkan dengan densitas air sehingga cenderung mengapung. Oleh karena itu, dalam proses ini perlu ditambahkan gaya ke atas dengan memasukkan udara ke dalam air. Flotasi antara lain digunakan dalam proses pemisahan lemak dan minyak, pemisahan padatan

pada pengolahan awal dan pengolahan lanjutan, pemindahan *floc* setelah pengolahan kimia, dan pengentalan lumpur.

2. Proses Pengolahan Kimia

Proses pengolahan kimia digunakan dalam instalasi air bersih dan IPAL. Pengolahan secara kimia pada IPAL biasanya digunakan untuk netralisasi limbah asam maupun basa, memperbaiki proses pemisahan lumpur, memisahkan padatan yang tak terlarut, mengurangi konsentrasi minyak dan lemak, meningkatkan efisiensi instalasi flotasi dan filtrasi, serta mengoksidasi warna dan racun.

a. Netralisasi

Netralisasi adalah reaksi antara asam dan basa menghasilkan air dan garam. Dalam pengolahan air buangan, pH diatur antara 6-9,5. Di luar kisaran pH tersebut, air buangan akan bersifat racun bagi kehidupan air, termasuk bakteri. Proses netralisasi yang digunakan adalah netralisasi antara air asam dan air basa, penambahan bahan-bahan kimia yang diperlukan, dan filtrasi melalui zat-zat untuk netralisasi, misalnya CaCO_3 .

b. Presipitasi

Presipitasi adalah pengurangan bahan-bahan terlarut dengan cara penambahan bahan-bahan kimia terlarut yang menyebabkan terbentuknya padatan-padatan (*floc* dan lumpur). Dalam pengolahan air buangan, presipitasi digunakan untuk menghilangkan logam berat, sulfat, fluorida, dan fosfat.

c. Koagulasi dan Flokulasi

Proses koagulasi dan flokulasi adalah konversi dari polutan-polutan yang tersuspensi koloid yang sangat halus di dalam air buangan, menjadi gumpalan-gumpalan yang dapat diendapkan, disaring, atau diapungkan.

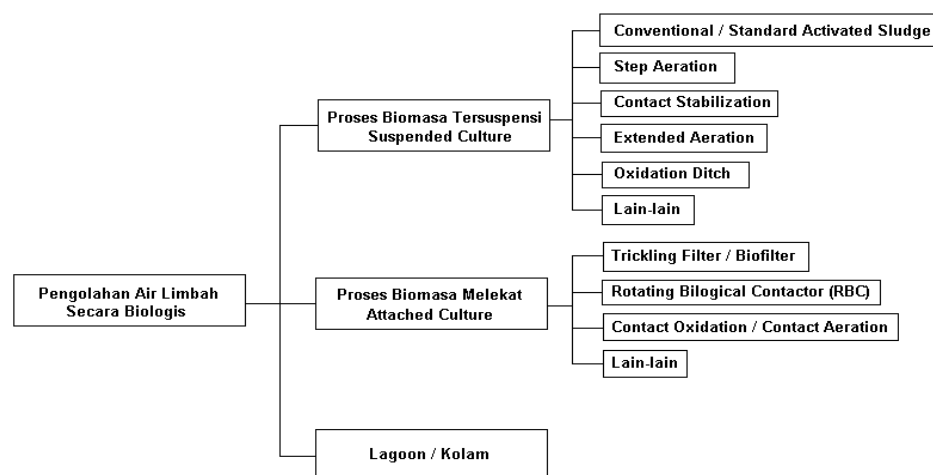
3. Proses Pengolahan Biologi

Pengolahan air buangan secara biologi terutama dimaksudkan untuk menyisihkan zat-zat organik yang terlarut dan yang koloid tetapi zat organik yang tersuspensi juga dapat tersisihkan dalam proses ini (Tchobanoglous dan Burton, 2003).

Bahan organik tersebut dikonversi menjadi massa mikroorganisme (biomassa) dan biomassa ini karena sifatnya, mengalami *bioflokulasi* yang dapat dipisahkan dengan pengendapan.

Tujuan pengolahan air limbah secara biologi adalah mengubah molekul organik yang kompleks menjadi produk yang lebih sederhana dan biomassa dengan menggunakan mikroorganisme. Keberhasilan pengolahan limbah secara biologi tergantung dari aktivitas mikroorganisme di dalamnya. Karena itu diperlukan perlakuan khusus yang mampu menjaga keseimbangan pertumbuhan mikroorganisme dengan mengontrol parameter-parameter yang dibutuhkan dalam pengolahan biologi.

Semua air buangan yang mengandung bahan organik dapat diolah secara biologi (*biodegradable*). Sebagai pengolahan sekunder, pengolahan secara biologi banyak diterapkan karena merupakan pengolahan yang murah, efisien, dan lebih ramah lingkungan.



Gambar 2. 1 Klasifikasi Proses Pengolahan Air Limbah Secara Biologis

(Sumber : Said, N.I, 1999)

Pada dasarnya, reaktor pengolahan secara biologi dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu:

1. Reaktor pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth reactor*)
2. Reaktor pertumbuhan melekat (*attached growth reactor*)

Sistem pengolahan air buangan dengan cara biologi dapat digolongkan ke dalam cara aerobik dan anaerobik dan keduanya dapat dengan sistem pertumbuhan tersuspensi atau pertumbuhan terlekat atau kombinasi keduanya.

1. Metode Pertumbuhan Tersuspensi

Di dalam metode pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi.

a. Pengolahan Air Buangan dengan Sistem Lumpur Aktif

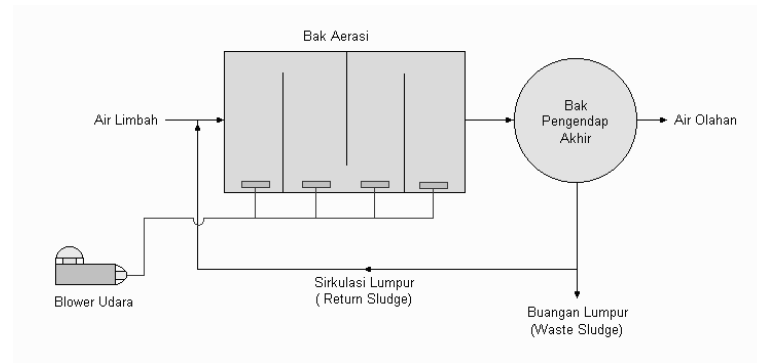
Pengolahan air buangan dengan proses lumpur aktif konvensional (standar) secara umum terdiri dari bak pengendap awal, bak aerasi dan bak pengendap akhir, serta bak khlorinasi untuk membunuh bakteri patogen. Secara umum proses pengolahannya adalah sebagai berikut :

Air buangan ditampung dalam bak penampung air buangan. Bak penampung ini berfungsi sebagai bak pengatur debit air buangan serta dilengkapi dengan saringan kasar untuk memisahkan kotoran yang besar. Kemudian air buangan dalam bak penampung di pompa ke bak pengendap awal.

Bak pengendap awal berfungsi untuk menurunkan padatan tersuspensi (*suspended solids*) sekitar 30-40%, serta BOD sekitar 25%. Air limpasan dari bak pengendap awal dialirkan ke bak aerasi secara gravitasi. Di dalam bak aerasi ini air buangan dihembus dengan udara sehingga mikroorganisme yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air buangan. Energi yang didapatkan dari hasil penguraian zat organik tersebut digunakan oleh mikroorganisme untuk proses pertumbuhannya. Dengan demikian di dalam bak aerasi tersebut akan tumbuh dan berkembang biomassa dalam jumlah besar. Biomassa atau mikroorganisme inilah yang akan menguraikan senyawa polutan yang ada di dalam air buangan. Sebagian besar mikroorganisme mengoksidasi senyawa organik dalam waktu yang singkat. Waktu tinggal dalam bak aerasi berkisar antara 4-8 jam.

Dari bak aerasi, air dialirkan ke bak pengendap akhir. Di dalam bak ini lumpur aktif yang mengandung massa mikroorganisme diendapkan dan dipompa kembali ke bagian inlet bak aerasi dengan pompa sirkulasi lumpur.

Air limpasan dari bak pengendap akhir dialirkan ke bak khlorinasi. Di dalam bak kontaktor khlor ini air buangan dikontakkan dengan senyawa khlor untuk membunuh mikroorganisme patogen. Air olahan, yakni air yang keluar setelah proses khlorinasi dapat langsung dibuang ke sungai atau saluran umum. Dengan proses ini air buangan dengan konsentrasi BOD 250-300 mg/lit dapat diturunkan kadar BODnya menjadi 20-30 mg/lit (Said, N.I, 1999).



Gambar 2. 2 Diagram Proses Pengolahan Air Buangan dengan Proses Lumpur Aktif Konvensional

(Sumber : Said, N.I, 1999)

Proses yang berlangsung di lumpur aktif berada dalam kondisi aerob. Kebutuhan oksigen dipenuhi dengan penggunaan aerator baik secara *mechanical* maupun secara *diffused*. Setelah beberapa waktu tertentu limbah yang sudah mengalami pengolahan secara biologi dialirkan ke bak sedimentasi. Sebagian lumpur terendap yang masih mengandung mikroorganisme diresirkulasi ke reaktor untuk menjaga konsentrasi bakteri dalam reaktor. Sedangkan sebagian yang lain merupakan lumpur yang harus dibuang (Tchobanoglous, 1991).

Keunggulan dari lumpur aktif adalah dapat mengolah air buangan dengan beban BOD yang besar, sehingga tidak memerlukan tempat yang besar. Proses ini cocok digunakan untuk mengolah air buangan dalam jumlah besar. Sedangkan kelemahannya antara lain: kemungkinan terjadi *bulking* pada lumpur aktifnya, terjadi buih, serta jumlah lumpur yang dihasilkan cukup besar.

Selain sistem lumpur aktif konvensional, ada beberapa modifikasi dari proses lumpur aktif yang banyak digunakan di lapangan yakni antara lain sistem aerasi berlanjut (*extended aeration system*), sistem aerasi bertahap (*step aeration*),

sistem aerasi berjenjang (*tappared aeration*), sistem stabilisasi kontak (*contact stabilization system*), sistem oksidasi parit (*oxydation ditch*), sistem lumpur aktif kecepatan tinggi (*high rate activated sludge*), dan sistem lumpur aktif dengan oksigen murni (*pure-oxygen activated sludge*). Beberapa pertimbangan untuk pemilihan proses tersebut antara lain: jumlah air buangan yang akan diolah, beban organik, kualitas air olahan yang diharapkan, lahan yang diperlukan serta kemudahan operasi dan lainnya.

1) Sistem Aerasi Berlanjut (*Extended Aeration System*)

Proses ini biasanya digunakan untuk kapasitas pengolahan yang relatif kecil, pengolahan paket untuk mengurangi produksi lumpur. Waktu aerasinya berkisar antara 16-24 jam dan efisiensi pengolahan berkisar antara 75-85%.

2) Proses dengan Sistem Oksidasi Parit (*Oxidation Ditch*)

Sistem oksidasi parit terdiri dari bak aerasi berupa parit atau saluran yang berbentuk oval yang dilengkapi dengan satu atau lebih rotor rotasi untuk aerasi. Proses ini digunakan untuk kapasitas yang relatif kecil, konstruksi sederhana dan membutuhkan tempat yang cukup luas. Waktu aerasi yang dibutuhkan adalah 24-48 jam dengan efisiensi pengolahan sekitar 75-85%.

3) Sistem Aerasi Bertingkat (*Step Aeration*)

Proses ini merupakan modifikasi dari proses konvensional, dimana endapan limbah dikembalikan ke dalam tangki melalui beberapa titik dalam tangki aerasi. Hal ini bertujuan untuk menyamakan perbandingan F/M dan mengurangi kebutuhan oksigen. Proses ini digunakan untuk pengolahan air buangan dengan beban BOD yang besar dengan waktu aerasi 4-6 jam dan efisiensi pengolahan 90%.

4) Sistem Stabilisasi Kontak (*Contact Stabilization*)

Dalam proses ini, dibutuhkan dua buah tangki terpisah untuk pengolahan air buangan dan menstabilkan lumpur aktif. Lumpur aktif yang telah distabilkan kemudian dicampurkan dengan air buangan dalam tangki kontak. Campuran air buangan dengan mikroba diendapkan dalam bak pengendapan sekunder.

Selanjutnya lumpur endapan tersebut diaerasi kembali dalam tangki secara terpisah untuk menstabilkan bahan-bahan organik. Proses ini digunakan untuk mengurangi kandungan lumpur, meningkatkan kemampuan adsorpsi dari lumpur aktif dengan waktu aerasi 5 jam dan efisiensi pengolahan 85-90%.

5) Sistem Lumpur Aktif Kecepatan Tinggi (*High Rate Activated Sludge*)

Sistem ini digunakan untuk mengolah limbah konsentrasi tinggi dan dioperasikan untuk beban BOD yang sangat tinggi dibandingkan dengan proses lumpur aktif konvensional. Proses ini mempunyai waktu tinggal hidraulik sangat singkat yaitu 2-3 jam dengan efisiensi pengolahan 75-95%.

6) Sistem Aerasi dengan Oksigen Murni (*Pure Oxygen Aeration*)

Sistem aerasi ini didasarkan pada prinsip bahwa laju transfer oksigen murni lebih tinggi daripada oksigen atmosfer. Proses ini menghasilkan kemampuan oksigen terlarut menjadi lebih tinggi, sehingga meningkatkan efisiensi pengolahan sekitar 85-95% dan mengurangi produksi lumpur. Sistem aerasi melalui difusi udara dan aerator mekanik dengan waktu 6-8 jam.

2. Metode Pertumbuhan Melekat

a. *Trickling Filter* (TF)

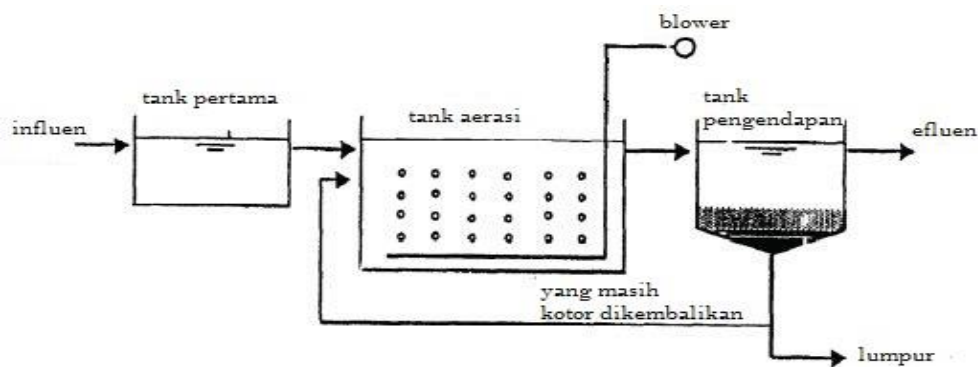
Pengolahan air buangan dengan proses *Trickling Filter* adalah proses pengolahan dengan cara menyebarkan air buangan ke dalam suatu tumpukan atau media yang terdiri dari bahan batu pecah(kerikil), bahan keramik, sisa tanur(slag), medium dari bahan plastik. Dengan cara demikian maka pada permukaan medium akan tumbuh lapisan biologis (biofilm) seperti lendir, dan lapisan tersebut akan kontak dengan air buangan dan akan menguraikan senyawa polutan pada air buangan.

Trickling Filter terdiri dari media tembus air membentuk *bed* yang terbuat dari batuan pecah dimana air dapat terdistribusi dan tersaring. TF juga dilengkapi dengan sistem *underdrain* terbuka sebagai pengumpul filtrat padat dan sebagai sumber udara bagi mikroorganisme di dalam filter.

Proses yang terjadi pada pengolahan air buangan dengan sistem *Trickling Filter* yaitu air limbah dialirkan ke dalam bak pengendapan awal untuk mengendapkan

padatan tersuspensi, selanjutnya air buangan dialirkan ke bak *trickling filter* melalui pipa berlubang yang berputar. Dengan cara ini maka terdapat zona basah dan kering secara bergantian sehingga terjadi transfer oksigen ke dalam air buangan. Pada saat kontak dengan media *tricking filter*, air buangan akan kontak dengan mikroorganisme yang menempel pada permukaan media, dan mikroorganisme inilah yang akan menguraikan senyawa polutan yang ada di dalam air buangan.

Air buangan yang masuk ke dalam bak *trickling filter* selanjutnya akan keluar melalui pipa underdrain yang ada di dasar bak dan keluar melalui saluran effluen. Dari saluran effluen dialirkan ke bak pengendapan akhir dan air limpasan dari bak pengendapan akhir merupakan air olahan. Proses pengolahan air buangan dengan sistem *Trickling Filter* dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 3 Proses Pengolahan Air Buangan dengan Sistem *Trickling Filter*

(Sumber : Asmadi&Suharno, 2012)

Kelebihan dari *Trickling Filter* adalah sebagai berikut:

- 1) Sederhana
- 2) Proses cocok untuk area pengolahan dimana tidak tersedia ruang besar
- 3) Efektif dalam mengolah konsentrasi organik tergantung dari media yang digunakan
- 4) Cocok untuk komunitas kecil-sedang dan sistem *onsite*
- 5) Relatif hemat energi

Sedangkan kekurangan dari *Trickling Filter* adalah sebagai berikut :

- 1) Pengolahan tambahan mungkin dibutuhkan untuk mendapatkan effluen standar yang baik
- 2) Timbulan lumpur harus diolah dan dibuang
- 3) Perlu pemeriksaan teratur
- 4) Kurang fleksibel jika dibandingkan dengan *activated sludge*
- 5) Dapat menimbulkan masalah vektor dan bau busuk

b. *Rotating Biological Contactor* (RBC)

Reaktor biologis putar (*Rotating Biological Contactor*) disingkat RBC adalah salah satu teknologi pengolahan air buangan yang mengandung polutan organik yang tinggi secara biologis dengan sistem biakan melekat (*attached culture*). Prinsip kerja pengolahan air buangan dengan RBC yakni air buangan yang mengandung polutan organik dikontakkan dengan lapisan mikroorganisme yang melekat pada permukaan media di dalam suatu reaktor.

Media tempat melekatnya film biologis ini berupa piringan (disk) dari bahan polimer atau plastik yang ringan dan disusun dari berjajar-jajar pada suatu poros sehingga membentuk suatu modul atau paket, selanjutnya modul tersebut diputar secara pelan dalam keadaan tercelup sebagian ke dalam air buangan yang mengalir secara kontinyu ke dalam reaktor tersebut.

Secara garis besar proses pengolahan air buangan dengan sistem RBC terdiri dari bak pemisah pasir, bak pengendap awal, bak kontrol aliran, reaktor biologis putar (RBC), bak pengendap akhir, bak khlorinasi, serta unit pengolahan lumpur.

Air buangan dialirkan ke dalam bak pemisah pasir, sehingga kotoran yang berupa pasir dapat diendapkan, sedangkan kotoran yang berupa sampah mengambang akan tertahan pada saringan yang dipasang pada inlet kolam pemisah pasir tersebut. Dari bak pemisah pasir, air buangan dialirkan ke bak pengendap awal. Waktu tinggal di dalam bak ini adalah 2-4 jam, dan lumpur yang telah mengendap dikumpulkan dan dipompa ke bak pengendap lumpur. Jika debit aliran air

buangan melebihi kapasitas perencanaan, kelebihan debit air buangan tersebut dialirkan ke bak kontrol aliran untuk disimpan sementara. Pada waktu debit aliran kecil, maka air buangan yang ada di dalam bak kontrol dipompa ke bak reaktor putar biologis. Waktu tinggal di dalam kontaktor kira-kira 2,5 jam. Dalam kondisi demikian, mikroorganisme akan tumbuh pada permukaan media yang berputar tersebut, membentuk lapisan (film) biologis yang terdiri dari berbagai jenis mikroorganisme. Mikroorganisme inilah yang akan menguraikan senyawa organik yang ada dalam air buangan. Air limpasan yang keluar dari bak reaktor selanjutnya dialirkan ke bak pengendap akhir dengan waktu tinggal 3 jam. Di dalam bak khlorinasi, air buangan dibubuhi senyawa khlorine dengan dosis dan waktu tertentu sehingga seluruh mikroorganisme patogennya dapat dimatikan. Selanjutnya dari bak khlorinasi air buangan sudah boleh dibuang ke badan air.

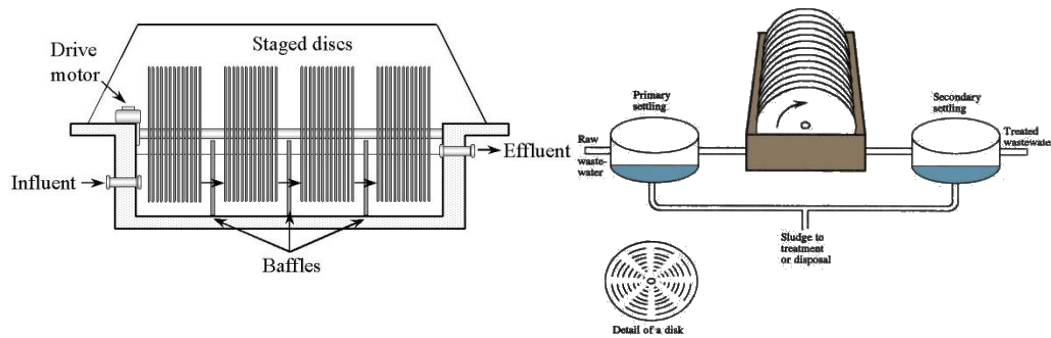
Kelebihan pengolahan menggunakan RBC (*Rotating Biological Contactor*) yaitu sebagai berikut :

1. Pengoperasian alat serta perawatannya mudah
2. Dapat dipasang beberapa tahap sehingga tahan terhadap fluktuasi beban pengolahan
3. Tidak terjadi bulking ataupun buih seperti pada proses lumpur aktif

Kekurangan pengolahan menggunakan RBC (*Rotating Biological Contactor*) yaitu sebagai berikut :

1. Pengontrolan jumlah mikroorganisme sulit dilakukan.
2. Sensitif terhadap perubahan suhu.
3. BOD kadang-kadang masih tinggi sehingga perlu digabungkan dengan unit pengolahan biologis lainnya.
4. Dapat timbul cacing rambut serta bau.

Rotating Biological Contactor (RBC) dapat dilihat pada Gambar 2.4 seperti di bawah ini:



Gambar 2. 4 Unit Pengolahan RBC (*Rotating Biologycal Contactor*)

(Sumber: Anonim, 2009)

c. *Sequencing Batch Reactor* (SBR)

Sistem SBR adalah suatu sistem lumpur aktif yang dioperasikan secara curah (*batch*). Satuan proses dalam sistem SBR identik dengan satuan proses dalam sistem lumpur aktif, yaitu aerasi dan sedimentasi untuk memisahkan biomassa. Pada sistem lumpur aktif, kedua proses tersebut berlangsung dalam dua tangki yang berbeda, sedangkan pada SBR berlangsung secara bergantian pada tangki yang sama. Keunikan lain sistem SBR adalah bahwa tidak diperlukan resirkulasi sludge. Proses sistem SBR terdiri atas lima tahap, yaitu pengisian, reaksi (aerasi), pengendapan (sedimentasi), pembuangan, dan istirahat(*idle*).

Waktu siklus dalam sistem SBR berkisar antara 3-24 jam, tergantung pada karakteristik limbah dan tujuan pengolahan.

d. Sistem Kolam (Kolam Oksidasi)

Sistem kolam atau sering disebut kolam oksidasi merupakan salah satu sistem pengolahan limbah cair tertua, dan merupakan perkembangan dari cara pembuangan limbah cair secara langsung ke badan air. Pada sistem kolam, konsentrasi mikroorganisme relatif kecil, suplai oksigen dan pengadukan berlangsung secara alami, sehingga proses perombakan bahan organik berlangsung relatif lama dan pada area yang luas.

Berbagai jenis mikroorganisme berperan dalam proses perombakan, tidak terbatas mikroorganisme aerobik, tetapi juga mikroorganisme anaerobik. Karena lamanya waktu tinggal limbah cair, maka organisme dengan waktu generasi tinggi (zooplankton, larva, insekta, kutu air, ikan kecil) juga dapat tumbuh dan berkembang dalam sistem kolam. Komposisi organisme sangat tergantung pada temperatur, suplai oksigen, sinar matahari, jenis dan konsentrasi substrat.

Faktor pembatas sistem kolam adalah suplai oksigen. Sistem kolam umumnya dirancang untuk tingkat pembebanan rendah, sehingga laju pasokan oksigen dari atmosfer mencukupi kebutuhan oksigen bakteri. Waktu tinggal hidraulik dalam kolam sekitar 20 hari.

Kelebihan dari sistem kolam antara lain: sistem pengolahan limbah cair sederhana yang tidak memerlukan peralatan mekanis, mudah dioperasikan, dan tidak memerlukan biaya tinggi. Sedangkan kekurangan dari sistem kolam antara lain: sangat tergantung pada cuaca, memerlukan lahan luas, dan berpotensi menimbulkan bau busuk.

2.1.8 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Limbah domestik yang berasal dari berbagai kegiatan rumah tangga berdampak bagi lingkungan abiotik dan biotik yang kemudian berdampak pada masyarakat yaitu tercemarnya air tanah dan tumbuhnya berbagai macam penyakit, maka dari itu air buangan domestik perlu diolah dengan baik. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) terkait dengan fasilitas prasarana permukiman sehingga tidak terpisahkan dengan manusia, hunian, dan lingkungan. IPAL berfungsi untuk mengendalikan serta mengolah limbah domestik, air buangan domestik dialirkan melalui saluran *interceptor* dan diolah kemudian dibuang ke sungai dalam keadaan yang sudah memenuhi kriteria. Dengan adanya IPAL diharapkan sungai terbebas dari pencemaran air buangan khususnya limbah domestik.

Tujuan utama pengolahan air buangan adalah untuk mengurangi kandungan bahan pencemar di dalam air terutama senyawa organik, padatan tersuspensi, mikroba patogen, dan senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang terdapat di alam.

Berdasarkan penelitian (Nopiah.2016) di IPAL Mojosongo Surakarta, dapat diketahui sebagai berikut:

1. Proses pengolahan air buangan di IPAL Mojosongo meliputi beberapa tahap antara lain :

- a. Pengaliran Dari Bak Penampung

Air buangan rumah tangga yang berasal dari Perumahan Mojosongo, Nusukan, Kadipiro dan Mojosongo non Perumnas akan ditampung terlebih dahulu di bak penampung dan dipompa ke pengolahan. Pemompaan dilakukan karena kontur tanah menuju ke IPAL lebih tinggi dari daerah pelayanan.

- b. Saringan (*Bar Screen*)

Air buangan yang dialirkan melalui pipa kemudian disaring di *bar screen* untuk menahan sampah dan plastik agar tidak masuk ke pengolahan limbah. Sebelum masuk ke pengolahan air buangan akan dipompa menuju ke bak pengendap awal.

- c. Bak Pengendap Awal

Apabila air buangan tidak diharapkan melewati bak ini maka *gate valve* (katub) dioperasikan dalam keadaan terbuka sehingga air akan mengalir langsung menuju bak aerasi I, tetapi apabila air buangan diinginkan untuk melewati bak, maka *gate valve* (katub) dioperasikan dalam keadaan tertutup sehingga akan melimpah melalui *weir* (pelimpah) dan ruang pengukur dimana di ruang ini terpasang skala (di sebelah kanan) dan alat ukur *V notch* untuk mengetahui debit air buangan yang sedang dipompakan dari rumah pompa Kali Anyar.

Air buangan yang terjun dari *V notch* memasuki ruang pengendapan, maka pada ruang ini pasir yang terbawa aliran diharapkan mengendap. Sedangkan sampah terapung dan bisa ditahan oleh penyekat yang kemudian diambil secara manual setiap satu minggu sekali kemudian dibuang ke tempat

sampah. Air buangan yang melewati penyekat menuju pipa *outlet* dan masuk ke bak aerasi, hasil endapan dari bak itu perlu dikuras setiap 3 bulan sekali.

d. Bak Aerasi I

Dari bak pengendap awal air buangan secara gravitasi akan mengalir menuju bak aerasi I, pada bak ini aerator dihidupkan untuk menambah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan zat organik. Air buangan yang masuk pada bak aerasi I perlu dibiarkan selama 1 sampai dengan 2 minggu untuk dapat mengembangbiakkan mikroorganisme dan untuk percepatan perlu dilakukan *seeding* dengan cara memasukkan lumpur aktif dari tangki septik ke dalam bak aerasi.

Bak aerasi I dilengkapi 2 buah aerator bertujuan untuk pemberian oksigen. Bila pemberian oksigen kurang akan ditandai dengan timbulnya bau dimana akan terjadi proses *anaerobic*, untuk itu operator harus menjalankan atau mengoperasikan aerator tersebut.

e. Bak Aerasi II

Dari bak aerasi I air akan mengalir secara gravitasi ke aerasi II dan di sini aerator juga harus dihidupkan untuk menambah oksigen. Lumpur yang mengendap di dua aerasi tersebut diproses dengan cara memompa lumpur tersebut ke bak pengering (*sludge drying bed*).

Untuk itu perlu dilakukan pengurasan secara periodik, untuk pengurasan lumpur disediakan pompa lumpur yang dilengkapi dengan *pontoon* serta pipa fleksibel untuk hisap maupun tekan.

f. Bak Sedimentasi (*Sedimentation Pond*)

Air buangan dari bak aerasi II mengalir secara gravitasi ke bak sedimentasi. Air yang telah di aerasi I dan II, sebagian partikel-partikelnya akan mengendap di dalam bak ini. Dari bak ini air buangan sudah boleh dibuang ke badan air penerima melalui saluran di sebelah utara dan timur dari IPAL kemudian mengalir masuk ke Kali Anyar. Endapan lumpur akan mengendap ke dasar kolam yang kemudian perlu diadakan pengurasan setelah lumpur

berumur 2 (dua) tahun untuk pengurasan pertama, dan selanjutnya dilakukan pengurasan setiap 6 (enam) bulan sekali.

g. Bak Pengeringan Lumpur (*Sludge Drying Bed*)

Bangunan ini berfungsi untuk menampung lumpur yang diproduksi oleh bak aerasi I dan II, bak sedimentasi serta bak pengendap awal.

Dari bak-bak yang menghasilkan lumpur tersebut, lumpur dipompa melalui jaringan pipa lumpur, saluran terbuka ini dilengkapi dengan pintu-pintu pengatur aliran lumpur sehingga cara pengisian petak-petak dapat dilakukan bergiliran. Untuk masing-masing petak, ketebalan lumpurnya adalah 30 cm.

2. Kinerja IPAL Mojosongo

Hasil rata-rata pengujian fisika dan kimia IPAL Mojosongo yang dilakukan Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surakarta di tahun 2015 dengan membandingkan parameter menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah dapat dilihat pada Tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2. 5 Pengujian Fisika dan Kimia IPAL Mojosongo

No	Parameter	Satuan	Kadar Maks	Hasil Uji		Keterangan
				Inlet	Outlet	
	FISIKA					
1	TSS	mg/L	100	111,9	9,53	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014
	KIMIA					
2	pH	-	9	7,7	8,05	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014
3	BOD	mg/L	100	197,5	56,67	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014
4	COD	mg/L	100	227	89,25	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014

No	Parameter	Satuan	Kadar Maks	Hasil Uji		Keterangan
				Inlet	Outlet	
5	Minyak & Lemak	mg/L	10	-	-	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014

(Sumber: Nopiah.2016)

Dari hasil pengamatan diketahui bahwa *inlet* pada IPAL Mojosongo terletak di bak pengendap awal, sedangkan *outlet* terletak pada bak sedimentasi.

Pengamatan yang dilakukan oleh Laboratorium Perusahaan Air Minum (PDAM) Surakarta dengan membandingkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik menyatakan bahwa air buangan dari IPAL Mojosongo sudah memenuhi persyaratan dan layak untuk dibuang ke badan air penerima yaitu Kali Anyar.

3. Perhitungan Efisiensi

Nilai efisiensi pengolahan COD, BOD, dan TSS IPAL Mojosongo dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Metcalf & Eddy,1991) sebagai berikut:

$$E = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :

E = Efisiensi (%),

C = Konsentrasi efluen (mg/L),

C₀ = Konsentrasi influen (mg/L).

Berdasarkan dari perhitungan yang diperoleh, efisiensi pengolahan COD adalah 60,7% dan untuk BOD adalah 71,3%. Sedangkan nilai untuk TSS adalah 91,5% lebih dari 50% karena untuk kolam pengolahan merupakan pengolahan lanjutan dari pengolahan pendahuluan sehingga menunjukkan bahwa sistem pengolahan dan pengendapan lumpur juga berlangsung baik.

Efisiensi di atas 50% menunjukkan bahwa pengolahan telah berlangsung dengan baik.

4. Waktu Proses Pengolahan (Waktu Tinggal)

Perhitungan waktu proses pengolahan/waktu tinggal

$$Q = \frac{v}{t} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

Q = debit (liter/detik),

v = volume (liter),

t = waktu (detik).

Hasil perhitungan waktu tinggal proses pengolahan air buangan di IPAL Mojosongo dari hasil perhitungan dapat diketahui waktu tinggal sebesar 28-30 jam. Dilihat dari hasil waktu tinggal tersebut menunjukkan bahwa waktu tinggal yang terjadi di bak aerasi IPAL Mojosongo berlangsung lama sebab waktu tinggal standar pada bak aerasi adalah 4-8 jam.

Berdasarkan penelitian (Afifah.2016) di IPAL Semanggi Surakarta, dapat diketahui sebagai berikut:

1. Sistem pengolahan air buangan di IPAL Semanggi Surakarta yaitu sebagai berikut :

a. *Grit Chamber*

Air yang masuk dari jaringan air buangan domestik mengalir secara gravitasi menuju ke *grit chamber*. *Grit Chamber* adalah unit yang berfungsi untuk menangkap pasir endapan dari *interceptor*, pasir yang kasar akan mengendap secara gravitasi terlebih dahulu dan pasir halus akan mengendap di ujung *grit chamber*.

b. Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi adalah unit yang berguna untuk meratakan fluktuasi debit harian, terutama pada jam-jam puncak, untuk dapat dipompa secara kontinu ke bak aerasi.

c. Bak Aerasi

Bak aerasi adalah unit yang mengupayakan perpindahan gas dan dipergunakan dalam berbagai bentuk variasi operasi, meliputi penambahan oksigen untuk mengoksidasi besi dan mangan terlarut, penyisihan karbon dioksida untuk mereduksi korosi, penyisihan hydrogen sulfida untuk menghilangkan bau dan rasa, menurunkan korosi logam, penyisihan metana untuk mencegah kebakaran dan ledakan, pembuangan minyak yang mudah menguap dan bahan-bahan penyebab bau dan rasa serupa dikeluarkan oleh ganggang serta mikroorganisme lain. Bola biofilter sebagai media pelekak untuk mengasimilasi material organik tersebut.

Air yang telah selesai di bak aerasi dialirkan menuju ke bak sedimentasi dengan gravitasi dan flok yang mengendap di dasar bak aerasi akan dipompa menuju ke bak pengering lumpur.

d. Bak Sedimentasi

Bak sedimentasi adalah unit yang dimaksudkan untuk menciptakan suatu kondisi sedemikian rupa sehingga bahan-bahan yang tadinya terapung dalam air dapat diendapkan. Air buangan dari bak sedimentasi mengalir ke *outlet* IPAL Semanggi kemudian dibuang ke Sungai Premulung.

e. Bak Pengering Lumpur

Bak pengering lumpur adalah bak yang terdiri dari lapisan porous alami atau buatan yang menerima lumpur stabil dari *underflow* unit pengolahan air buangan untuk dikeringkan dengan cara drainase dan evaporasi.

Bak ini menampung lumpur encer dari unit aerasi dan unit sedimentasi, dimana lumpur akan mengendap dan air lumpur akan meresap ke dalam filter

kerikil-kerikil yang akan mengalir menuju ke *Grit Chamber*. Lumpur yang sudah mengendap dapat dijadikan kompos.

2. Kinerja IPAL Semanggi Surakarta

Untuk membuktikan kelayakan air buangan domestik di IPAL Semanggi dilakukan uji laboratorium. Adapun hasil pengujian pada air buangan domestik di IPAL Semanggi dapat dilihat pada Tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Hasil Pengujian Sampel *Inlet* dan *Outlet* IPAL Semanggi

No	Parameter	Satuan	Kadar Maks	Hasil Uji	
				Inlet	Outlet
	FISIKA				
1	Suhu	°C	38	26	26,3
2	TSS	mg/L	100	29,8	14,8
3	MLSS	mg/L			
	KIMIA				
4	pH		6-9	7,2	6,9
5	DO	mg/L		1,8	3
6	DHL	μS/cm		768	654
7	BOD	mg/L	50	205	45
8	COD	mg/L	100	195,8	133

(Sumber: Afifah.2016)

Dari hasil pengamatan, dapat diketahui bahwa *inlet* IPAL Semanggi terletak pada *Grit Chamber* sedangkan *outlet*nya terletak pada bak sedimentasi.

3. Perhitungan Efisiensi

Berdasarkan perhitungan yang diperoleh, efisiensi pengolahan COD adalah 32,1% dan untuk BOD adalah 78,1%. Sedangkan nilai untuk TSS adalah

50,3%. Efisiensi di atas 50% menunjukkan bahwa pengolahan telah berlangsung dengan baik.

Diketahui dari hasil perhitungan COD, BOD, dan TSS di IPAL Mojosongo, ketiga parameter tersebut efisiensinya lebih dari 50% sehingga menunjukkan bahwa pengolahan berlangsung dengan baik. Sedangkan diketahui dari hasil perhitungan COD, BOD, dan TSS di IPAL Semanggi hanya BOD dan TSS yang efisiensinya lebih dari 50%. Sehingga dari hasil perhitungan efisiensi antara IPAL Mojosongo dan IPAL Semanggi dapat diketahui bahwa efisiensi pengolahan IPAL Mojosongo lebih baik bila dibandingkan dengan IPAL Semanggi.

4. Waktu tinggal

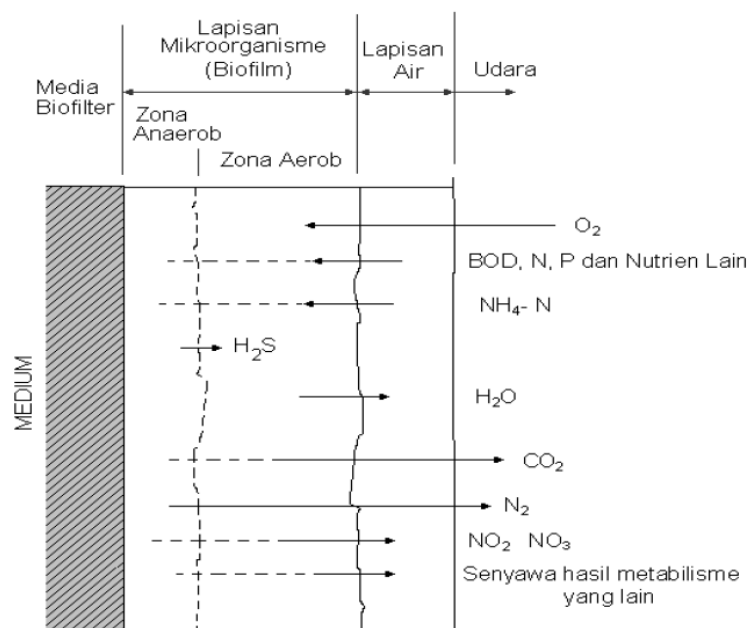
Dari hasil perhitungan waktu tinggal atau *Hydrolic Retention Time* (HRT) yang ada di IPAL Semanggi dapat diketahui bahwa waktu tinggal sebesar 4-7 jam. Ini menunjukkan bahwa waktu tinggal di IPAL Semanggi sudah sesuai dengan parameter perencanaan waktu tinggal IPAL.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Proses Biofilter

Proses pengolahan air buangan dengan proses *biofilm* atau *biofilter* tercelup dilakukan dengan cara mengalirkan air buangan ke dalam reaktor biologis yang di dalamnya diisi dengan media penyangga untuk pengembangbiakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Untuk proses anaerobik dilakukan tanpa pemberian udara atau oksigen.

Mekanisme proses metabolisme di dalam sistem biofilm secara aerobik secara sederhana dapat dijelaskan pada Gambar 2.5. Gambar tersebut menunjukkan suatu biofilm yang terdiri dari medium penyangga, lapisan biofilm yang melekat pada medium, lapisan alir limbah dan lapisan udara yang terletak di luar. Senyawa polutan yang ada di dalam air buangan, misalnya senyawa organik (BOD, COD), amonia, dan yang lainnya akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium.



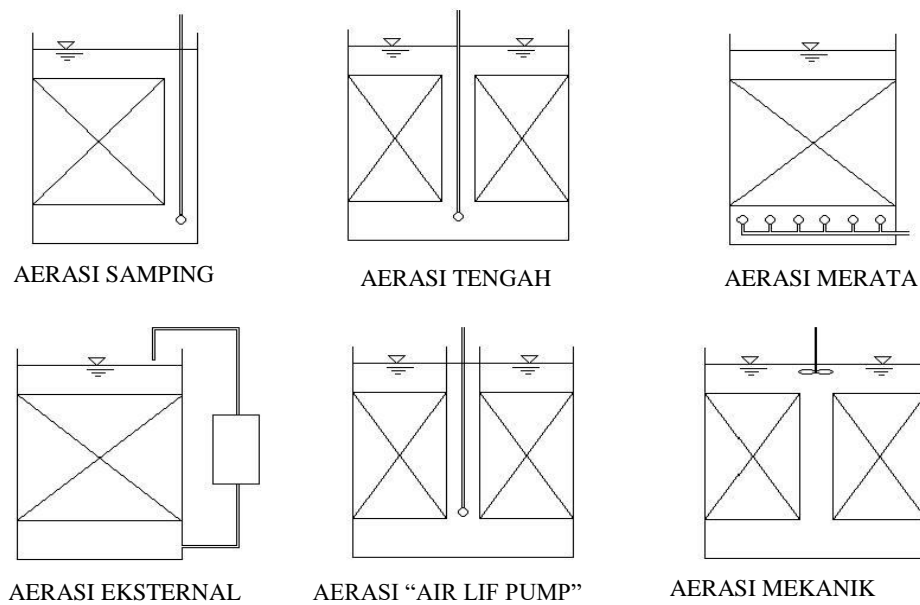
Gambar 2. 5 Mekanisme Proses Metabolisme Di Dalam Proses Dengan Sistem Biofilm

(Sumber: www.kelair.bppt.go.id)

Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut di dalam air buangan, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Suplai oksigen pada sistem biofilter tercelup dengan menggunakan blower udara atau pompa sirkulasi.

Jika lapisan mikrobiologis cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikrobiologis akan berada dalam kondisi aerobik sedangkan pada bagian dalam biofilm yang melekat pada medium akan berada dalam kondisi anaerobik. Pada kondisi anaerobik akan terbentuk gas H_2S , dan jika konsentrasi oksigen terlarut cukup besar, maka gas H_2S yang terbentuk akan diubah menjadi sulfat (SO_4) oleh bakteri sulfat yang ada di dalam biofilm. Selain itu, pada zona aerobik nitrogen-ammonium akan diubah menjadi nitrit dan nitrat dan selanjutnya nitrat yang terbentuk mengalami proses denitrifikasi menjadi gas nitrogen. Karena di dalam sistem biofilm terjadi kondisi anaerobik dan aerobik pada saat yang bersamaan, maka dengan sistem tersebut proses penghilangan senyawa nitrogen menjadi lebih mudah.

Beberapa cara suplai udara yang sering digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.6 antara lain aerasi samping, aerasi tengah (pusat), aerasi merata seluruh permukaan, aerasi eksternal, aerasi dengan “*air lift pump*”, dan aerasi dengan sistem mekanik. Masing-masing cara mempunyai keuntungan dan kekurangan. Sistem aerasi juga tergantung dari jenis media maupun efisiensi yang diharapkan. Penyerapan oksigen dapat terjadi disebabkan terutama karena aliran sirkulasi atau aliran putar kecuali pada sistem aerasi merata seluruh permukaan media.



Gambar 2. 6 Metode Aerasi untuk Proses Pengolahan Air Buangan dengan Sistem Biofilter Tercelup

(Sumber: Said, N.I, 1999)

Jika kemampuan penyerapan oksigen besar maka dapat digunakan untuk mengolah air buangan dengan beban organik yang besar pula. Oleh karena itu diperlukan juga media biofilter yang dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar. Salah satu jenis media yang sering digunakan adalah media dari bahan plastik tipe sarang tawon dapat dilihat pada Gambar 2.7. Pemilihan media sarang tawon dipengaruhi oleh ringannya media ini.



Gambar 2. 7 Media Sarang Tawon

(Sumber: google)

2.2.2 Proses Pengolahan Air Buangan dengan Biofilter Anaerob-Aerob

Proses pengolahan dengan biofilter anaerob-aerob merupakan pengembangan dari proses biofilter anaerob dengan proses aerasi kontak. Pengolahan air buangan dengan biofilter anaerob-aerob terdiri dari beberapa tahap, antara lain:

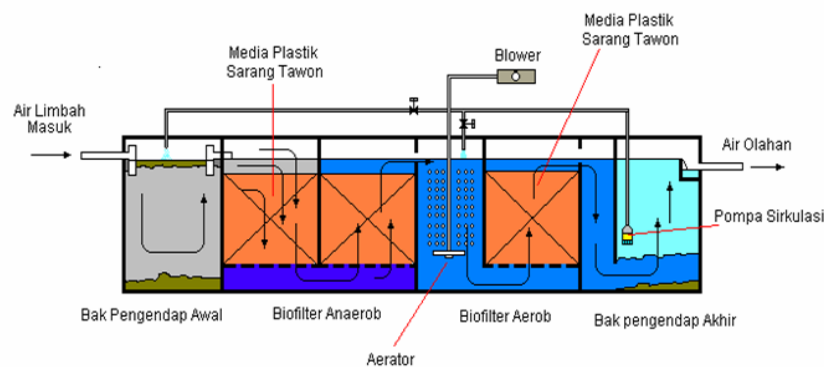
Seluruh air buangan dialirkan melalui saringan kasar (*bar screen*) untuk menyaring sampah daun, kertas, plastik, dan lain-lain. Setelah melalui screen air buangan dialirkan ke bak ekualisasi kemudian air buangan dipompa ke bak pengendap awal untuk mengendapkan partikel lumpur, pasir, dan kotoran organik tersuspensi. Selain sebagai bak pengendap juga berfungsi sebagai bak pengontrol aliran, serta bak pengurai senyawa organik yang berbentuk padatan, *sludge digestion* (pengurai lumpur) dan penampung lumpur.

Air limpasan dari bak pengendap awal selanjutnya dialirkan ke bak kontaktor anaerob dengan arah aliran dari atas ke bawah, dan dari bawah ke atas. Di dalam bak kontaktor anaerob tersebut diisi dengan media dari bahan plastik tipe sarang tawon. Jumlah bak kontaktor anaerob ini bisa dibuat lebih dari satu sesuai dengan kualitas dan jumlah air baku yang akan diolah. Penguraian zat-zat organik yang ada dalam air buangan dilakukan oleh bakteri anaerobik atau *facultatif aerobik*. Setelah beberapa hari operasi, pada permukaan media filter akan tumbuh lapisan film mikroorganisme. Mikroorganisme inilah yang akan menguraikan zat organik yang belum sempat terurai pada bak pengendap.

Air limpasan dari bak kontaktor anaerob dialirkan ke bak kontaktor aerob. Di dalam bak kontaktor aerob ini diisi dengan media dari bahan plastik tipe sarang tawon, sambil diaerasi atau dihembus dengan udara sehingga mikroorganisme yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air buangan serta tumbuh dan menempel pada permukaan media. Dengan demikian air buangan akan mengalami kontak dengan mikroorganisme yang tersuspensi dalam air maupun yang menempel pada permukaan media yang mana hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi penguraian zat organik, deterjen serta mempercepat proses nitrifikasi, sehingga efisiensi penghilangan amonia menjadi lebih besar. Proses ini dinamakan Aerasi Kontak (*Contact Aeration*).

Dari bak aerasi, air dialirkan ke bak pengendap akhir. Di dalam bak ini lumpur aktif yang mengandung massa mikroorganisme diendapkan dan dipompa kembali ke bagian *inlet* bak aerasi dengan pompa sirkulasi lumpur. Sedangkan air limpasan (*over flow*) dialirkan ke bak khlorinasi. Di dalam bak kontaktor khlor ini air buangan dikontakkan dengan senyawa khlor untuk membunuh mikroorganisme patogen. Air olahan, yakni air yang keluar setelah proses khlorinasi dapat langsung dibuang ke sungai atau saluran umum (Said, N.I, 1999).

Dengan kombinasi proses anaerob dan aerob tersebut selain dapat menurunkan zat organik (BOD, COD), ammonia, deterjen, padatan tersuspensi, phospat, dan lainnya. Skema proses pengolahan air buangan rumah tangga dengan sistem biofilter anaerob-aerob dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Skema Proses Pengolahan Air Buangan Rumah Tangga (Domestik) dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob

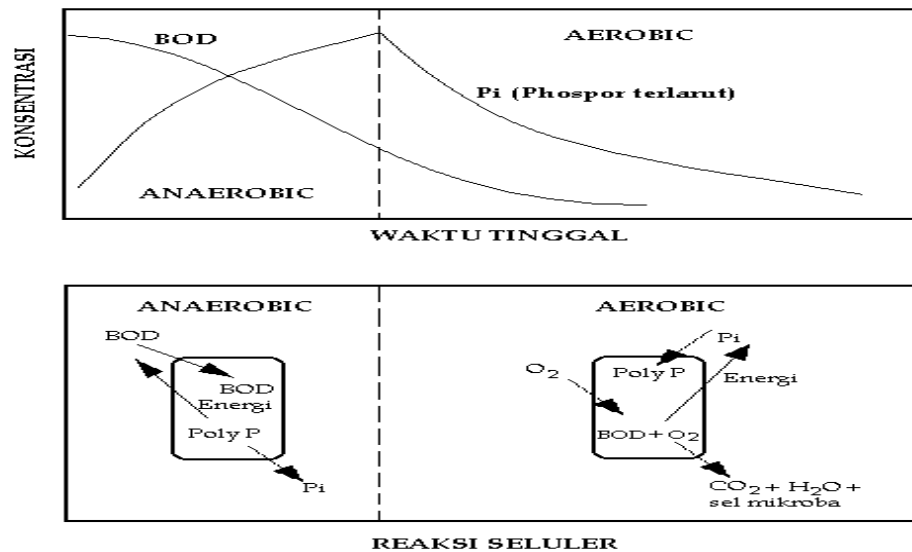
(Sumber: Said, N.I, 1999)

Proses dengan biofilter anaerob-aerob ini mempunyai beberapa keuntungan, yaitu sebagai berikut:

1. Adanya air buangan yang melalui media dari bahan plastik tipe sarang tawon mengakibatkan timbulnya lapisan lendir yang menyelimuti disebut juga *biological film*. Air buangan yang masih mengandung zat organik yang belum teruraikan pada bak pengendap bila melalui lapisan lendir ini akan mengalami proses penguraian secara biologis. Efisiensi biofilter tergantung dari luas kontak antara air buangan dengan mikroorganisme yang menempel pada

permukaan media filter tersebut. Makin luas bidang kontakannya maka efisiensi penurunan konsentrasi zat organiknya (BOD) makin besar. Selain menghilangkan atau mengurangi konsentrasi BOD dan COD, cara ini dapat juga mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi atau *suspended solids* (SS), deterjen (MBAS), ammonium, dan fosfor.

2. Biofilter juga berfungsi sebagai media penyaring air buangan yang melalui media ini. Sebagai akibatnya, air buangan yang mengandung *suspended solids* dan bakteri *E.coli* setelah melalui filter ini akan berkurang konsentrasinya. Efisiensi penyaringan akan sangat besar karena dengan adanya *biofilter up flow* yakni penyaringan dengan sistem aliran dari bawah ke atas akan mengurangi kecepatan partikel yang terdapat pada air buangan dan partikel yang tidak terbawa aliran ke atas akan mengendap di dasar bak filter. Sistem biofilter anaerob-aerob ini sangat sederhana, operasinya mudah dan tanpa memakai bahan kimia serta membutuhkan energi. Proses ini cocok digunakan untuk mengolah air buangan dengan kapasitas yang tidak terlalu besar.
3. Dengan kombinasi proses “Anaerob-Aerob”, efisiensi penghilangan senyawa fosfor menjadi lebih besar bila dibandingkan dengan proses anaerob atau proses aerob saja. Fenomena proses penghilangan fosfor oleh mikroorganisme pada proses pengolahan anaerob-aerob dapat diterangkan seperti Gambar 2.9. Selama berada pada kondisi anaerob, senyawa fosfor anorganik yang ada dalam sel-sel mikroorganisme akan keluar sebagai akibat hidrolisa senyawa fosfor. Sedangkan energi yang dihasilkan digunakan untuk menyerap BOD (senyawa organik) yang ada di dalam air buangan. Efisiensi penghilangan BOD akan berjalan baik apabila perbandingan antara BOD dan fosfor (P) lebih besar 10. (Metcalf and Eddy, 1991). Selama berada dalam kondisi aerob, senyawa fosfor terlarut akan diserap oleh mikroorganisme dan akan sintesa menjadi polyphospat dengan menggunakan energi yang dihasilkan oleh proses oksidasi senyawa organik (BOD). Dengan demikian dengan kombinasi proses anaerob-aerob dapat menghilangkan BOD maupun fosfor dengan baik. Proses ini dapat digunakan untuk pengolahan air buangan dengan beban organik yang cukup besar.



Gambar 2. 9 Proses Penghilangan Phospor oleh Mikroorganisme di Dalam Proses Pengolahan “Anaerob-Aerob”

(Sumber : Nusa Idaman Said, 1999)

Kelebihan Biofilter Anaerob-Aerob yaitu sebagai berikut :

1. Pengelolaannya mudah.
2. Biaya operasi murah.
3. Dibandingkan dengan lumpur aktif, lumpur yang dihasilkan sedikit.
4. Dapat menghilangkan nitrogen dan phospor penyebab eutrofikasi.
5. Suplai udara untuk aerasi kecil.
6. Dapat digunakan untuk beban BOD yang besar.
7. Dapat menghilangkan padatan suspensi dengan baik.

Kekurangan Biofilter Anerob-Aerob yaitu sebagai berikut :

1. Waktu start relatif lama menunggu terbentuknya film.
2. Kontrol bakteri tidak dilakukan.
3. Tidak memperhitungkan jumlah dan jenis mikroba yang hidup.

Efisiensi Pengolahan dari Biofilter Anaerob dan Biofilter Aerob yaitu sebagai berikut :

a. Biofilter Anaerob

Pada biofilter anaerob, efisiensi penyisihan BOD menurut Metcalf & Eddy tahun 2003 adalah sebesar 60-90 %, penyisihan TSS sebesar 50-70 % dan waktu tinggalnya sekitar 2-10 jam. Sedangkan menurut Lee & Lin tahun 2007 penyisihan BOD adalah sebesar 65-80 % dan Christian tahun 2003 sebesar 65-85 %. Serta menurut Nusa Idaman Said tahun 1999 penyisihan BOD sebesar ≥ 90 % dan waktu tinggalnya adalah $\geq 6-8$ jam.

b. Biofilter Aerob

Pada biofilter aerob, efisiensi penyisihan BOD menurut Metcalf & Eddy tahun 2003 sekitar 60-90 %, penyisihan TSS sekitar 50-70 % dan waktu tinggalnya sekitar 2-10 jam. Sedangkan menurut Lee & Lin tahun 2007 penyisihan BOD sebesar 65-80 % dan Christian tahun 2003 sekitar 65-85%. Serta menurut Nusa Idaman Said penyisihan BOD sekitar ≥ 90 % dan waktu tinggalnya sekitar $\geq 6-8$ jam.

2.2.3 Pengujian COD, BOD, dan TSS

1. COD

COD (Chemical Oxygen Demand) atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan-bahan organik yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat – zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air. Hasil penetapan COD banyak digunakan untuk pengukuran beban pencemaran dari suatu buangan rumah tangga dan industri. Penetapan COD didasarkan atas kenyataan bahwa hamper semua senyawa organik dapat teroksidasi dengan bantuan oksidator kuat dalam kondisi asam.

Ada 2 metode penetapan COD yang dapat dilakukan, yaitu :

a. Metode Permanganat

Nilai kalium permanganat (KMnO_4) didefinisikan sebagai jumlah mg KMnO_4 yang diperlukan untuk mengoksidasi zat organik yang terdapat di dalam

satu liter contoh air dengan dididihkan selama 10 menit. Dengan proses oksidasi tersebut di atas mungkin hanya sebagian atau seluruh zat organik tersebut. Proses oksidasi untuk penetapan nilai kalium permanganat dapat dilakukan dalam kondisi asam atau kondisi basa, akan tetapi oksidasi dalam kondisi asam adalah lebih kuat, dengan demikian ion-ion klorida yang terdapat pada contoh air akan ikut teroksidasi. Oleh karena itu oksidasi kalium permanganat dalam kondisi basa dianjurkan untuk pemeriksaan contoh air yang mengandung kadar klorida lebih dari 300 mg/L. Zat - zat organik lain yang dapat mengganggu penetapan nilai kalium permanganat adalah ion – ion reduktor seperti ferro, sulfida dan nitrit. Gangguan dari reduktor bila terdapat dalam contoh air dapat di cegah dengan penambahan beberapa tetes larutan KMnO_4 sebelum dianalisis sulfida-sulfida dapat dihilangkan dengan mendidihkan contoh setelah ditambah beberapa tetes H_2SO_4 , sehingga terdapat bau H_2S , bila terdapat nitrit maka dapat dikoreksi dengan analisis blanko.

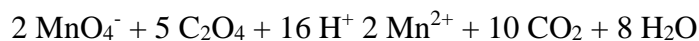
Reaksi ini lambat dalam larutan asam, tetapi sangat cepat dalam larutan netral. Karena alasan ini larutan kalium permanganat jarang dibuat dengan melarutkan jumlah-jumlah yang ditimbang dari zat padatnya yang sangat dimurnikan misalnya proanalisis dalam air, lebih lazim adalah untuk memanaskan suatu larutan yang baru saja dibuat sampai mendidih dan mendiampkannya diatas penangas uap selama satu/dua jam lalu menyaring larutan itu dalam suatu penyaring yang tak mereduksi seperti wol kaca yang telah dimurnikan atau melalui krus saring dari kaca maser. Permanganat bereaksi secara cepat dengan banyak agen pereduksi berdasarkan pereaksi ini, namun beberapa pereaksi membutuhkan pemanasan atau penggunaan sebuah katalis untuk mempercepat reaksi. Kalau bukan karena fakta bahwa banyak reaksi permanganat berjalan lambat, akan lebih banyak kesulitan lagi yang akan ditemukan dalam penggunaan reagen ini sebagai contoh, permanganat adalah agen unsur pengoksida, yang cukup kuat untuk mengoksida Mn(II) menjadi MnO_2 sesuai dengan persamaan



Kelebihan sedikit dari permanganat yang hadir pada titik akhir dari titrasi cukup untuk mengakibatkan terjadinya pengendapan sejumlah MnO_2 . Tindakan

pencegahan khusus harus dilakukan dalam pembuatan larutan permanganat. Mangan dioksidasi mengkatalisis dekomposisi larutan permanganat. Jejak-jejak dari MnO_2 yang semula ada dalam permanganat. Atau terbentuk akibat reaksi antara permanganat dengan jejak-jejak dari agen-agen produksi di dalam air, mengarah pada dekomposisi. Tindakan ini biasanya berupa larutan kristal-kristalnya, pemanasan untuk menghancurkan substansi yang dapat direduksi dan penyaringan melalui asbestos atau gelas yang disinter untuk menghilangkan MnO_2 . Larutan tersebut kemudian distandarisasi dan jika disimpan dalam gelap dan tidak diasamkan konsentrasinya tidak akan banyak berubah selama beberapa bulan. Oksidasi ini dapat berlangsung dalam suasana asam, netral dan alkalis.

Reaksi yang terjadi dalam analisis ini adalah :



b. Metode Bichromat

Oksidasi permangata sangat bervariasi, menurut jenis bebannya dan tingkat oksidasinya juga bervariasi, menurut reagen yang digunakan. Metode yang sering digunakan adalah metode bichromat, karena menghasilkan tingkat oksidasi yang lebih tinggi. Dalam hal ini bahan buangan organik akan akan dioksidasi oleh kalium bichromat menjadi gas CO_2 dan H_2O serta sejumlah ion chrom. Kalium bichromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) digunakan sebagai sumber oksigen (Oxidizing Agent). Oksidasi terhadap bahan organik akan mengikuti reaksi berikut ini:



Reaksi tersebut perlu pemanasan dan juga penambahan katalisator perak sulfat (Ag_2SO_4) untuk mempercepat reaksi. Apabila di dalam air buangan bahan organik diperkirakan ada unsur chloride yang dapat mengganggu reaksi, maka perlu ditambahkan Merkuri Sulfat (Hg_2SO_4) untuk menghilangkan gangguan tersebut. Chloride dapat mengganggu karena akan ikut teroksidasi oleh kalium bichromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Reaksi tersebut adalah :

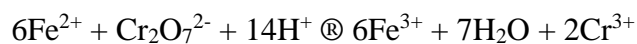


Apabila dalam larutan air buangan terdapat chloride, maka oksigen yang diperlukan pada reaksi tersebut tidak menggambarkan keadaan yang sebenarnya. Seberapa jauh tingkat pencemaran oleh bahan buangan organik tidak dapat

diketahui secara benar. Penambahan merkuri sulfat (Hg_2SO_4) adalah untuk mengikat klor menjadi merkuri klorida, mengikuti reaksi sebagai berikut :



Untuk memastikan bahwa semua zat organik habis teroksidasi maka zat pengoksidasi, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ merupakan pereaksi berlebih. Sehingga setelah pemanasan (reflux) masih terdapat $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang dapat digunakan untuk menentukan berapa oksigen yang terpakai. Kelebihan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ditentukan melalui titrasi dengan $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ atau FAS (Ferro Amonium Sulfat) yang reaksinya adalah sebagai berikut :



Metoda standar penentuan kebutuhan oksigen kimiawi atau Chemical Oxygen Demand (COD) yang digunakan saat ini adalah metoda yang melibatkan penggunaan oksidator kuat kalium bikromat, asam sulfat pekat, dan perak sulfat sebagai katalis. Kepedulian akan aspek kesehatan lingkungan mendorong perlunya peninjauan kritis metoda standar penentuan COD tersebut, karena adanya keterlibatan bahan-bahan berbahaya dan beracun dalam proses analisisnya (Nurdin, 2009).

COD juga merupakan parameter yang umum dipakai untuk menentukan tingkat pencemaran bahan organik pada air limbah. COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimia bahan organik di dalam air. Uji COD dapat dilakukan lebih cepat dari pada uji BOD, karena waktu yang diperlukan hanya sekitar 2 jam.

2. BOD

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* atau kebutuhan oksigen biologis yang merupakan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan dalam air. Dengan kata lain, BOD menunjukkan kebutuhan oksigen oleh organisme untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan yang terlarut dalam air. (Metcalf, Eddy. 2003. *Waste Water Engineering Design*). Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air. (Alaert.G dan Sri Sumestri

Santika, Msc. 1984. *Metoda Penelitian Air*). BOD penting untuk mengetahui banyaknya zat anorganik yang terkandung dalam air limbah. Makin banyak zat organik, makin tinggi BOD-nya. Nilai BOD dipengaruhi oleh suhu, cahaya, matahari, pertumbuhan biologik, gerakan air dan kadar oksigen. (Metcalf, Eddy. 2003. *Waste Water Engineering Design*).

Prinsip pengukuran BOD pada dasarnya cukup sederhana, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO_i) dari sampel segera setelah pengambilan contoh, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut pada sampel yang telah diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap (20°C) yang sering disebut dengan DO_5 . Selisih DO_i dan DO_5 ($DO_i - DO_5$) merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L). Pengukuran oksigen dapat dilakukan secara analitik dengan cara titrasi (metode Winkler, iodometri) atau dengan menggunakan alat yang disebut DO meter yang dilengkapi dengan *probe* khusus. Jadi pada prinsipnya dalam kondisi gelap, agar tidak terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen, dan dalam suhu yang tetap selama lima hari, diharapkan hanya terjadi proses dekomposisi oleh mikroorganisme, sehingga yang terjadi hanyalah penggunaan oksigen, dan oksigen tersisa ditera sebagai DO_5 . Yang penting diperhatikan dalam hal ini adalah mengupayakan agar masih ada oksigen tersisa pada pengamatan hari kelima sehingga DO_5 tidak nol. Bila DO_5 nol maka nilai BOD tidak dapat ditentukan.

Dengan mengetahui nilai BOD, akan diketahui proporsi jumlah bahan organik yang mudah urai (*biodegradable*), dan ini akan memberikan gambaran jumlah oksigen yang akan terpakai untuk dekomposisi di perairan dalam sepekan (lima 5 hari) mendatang. Selain waktu analisis yang lama, kelemahan dari penentuan BOD lainnya adalah (Metcalf & Eddy, 1991): diperlukannya benih bakteri (*seed*) yang teraklimatisasi dan aktif dalam konsentrasi yang tinggi, diperlukan perlakuan pendahuluan tertentu bila perairan diindikasikan mengandung bahan toksik, dan efek atau pengaruh dari organisme nitrifikasi (*nitrifying organism*) harus dikurangi. Meskipun ada kelemahan-kelemahan tersebut, BOD tetap digunakan sampai sekarang. Hal ini menurut Metcalf & Eddy (1991) karena beberapa alasan, terutama dalam hubungannya dengan pengolahan air limbah, yaitu :

- a. BOD penting untuk mengetahui perkiraan jumlah oksigen yang akan diperlukan untuk menstabilkan bahan organik yang ada secara biologi
- b. Untuk mengetahui ukuran fasilitas unit pengolahan limbah
- c. Untuk mengukur efisiensi suatu proses perlakuan dalam pengolahan limbah dan
- d. Untuk mengetahui kesesuaiannya dengan batasan yang diperbolehkan bagi pembuangan air limbah

3. TSS

TDS (Total Dissolved Solid) atau padatan terlarut total adalah bahan-bahan terlarut dalam air yang tidak terlarut dalam air yang tidak tersaring dengan kertas saring Milipore dengan ukuran pori-pori (porosity) $0,4\mu\text{m}$ (Bambang, 1996).

Sumber utama untuk TDS dalam perairan adalah limpahan dari pertanian, limbah rumah tangga, dan industri. Unsur kimia yang paling umum adalah kalsium, fosfat, nitrat, natrium, kalium dan klorida

TSS (Total Suspended Solid) atau padatan tersuspensi total adalah bahan-bahan tersuspensi dan tidak terlarut dalam air (Bambang, 1996). TSS terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme, dan sebagainya. Material tersuspensi mempunyai efek yang kurang baik terhadap kualitas badan air karena dapat menyebabkan menurunkan kejernihan air dan dapat mempengaruhi kemampuan ikan untuk melihat dan menangkap makanan serta menghalangi sinar matahari masuk ke dalam air. Beberapa padatan total terlarut alami berasal dari pelapukan dan pelarutan batu dan tanah (Anonymous, 2010). Peningkatan padatan terlarut dapat membunuh ikan secara langsung, meningkatkan penyakit dan menurunkan tingkat pertumbuhan ikan serta perubahan tingkah laku dan penurunan reproduksi ikan. Selain itu, kuantitas makanan alami ikan akan semakin berkurang (Alabaster dan Lloyd, 1982).

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini, penelitian dimulai dengan tahap persiapan, lokasi penelitian, pengumpulan data, metode penelitian, analisis data, dan diagram alir.

3.1 Persiapan

Kegiatan yang dilakukan pada tahap persiapan adalah :

1. Studi pustaka

Studi pustaka digunakan untuk mendapatkan gambaran awal. Hal ini dilakukan dengan penelusuran melalui internet, buku-buku literatur, dan jurnal-jurnal yang terkait.

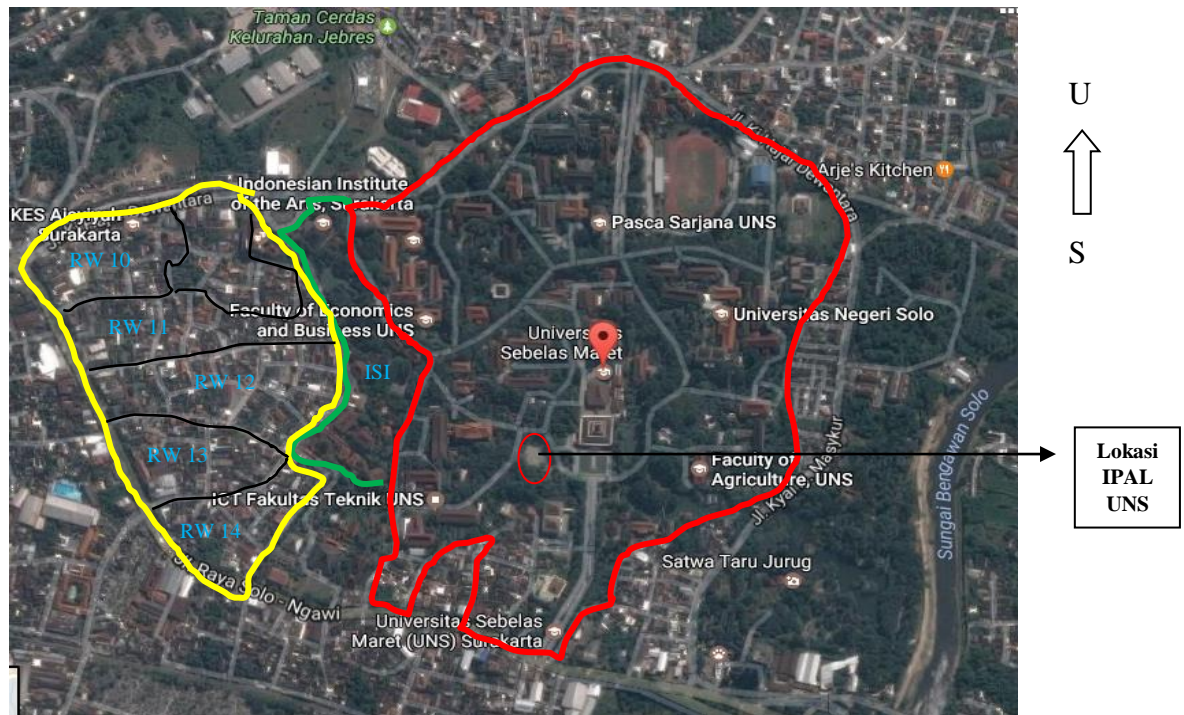
2. Menentukan data yang diperlukan

Data yang diperlukan dalam penelitian adalah data sekunder yaitu data yang berasal dari konsultan pembangunan IPAL.

3. Mempersiapkan administrasi untuk data yang diperlukan

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian mengenai Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) ini dilakukan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Universitas Sebelas Maret Kawasan Jebres Surakarta. Lokasi IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3. 1 Lokasi IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta

(Sumber: google)

Keterangan :

- : menunjukkan lokasi Universitas Sebelas Maret
- : menunjukkan lokasi ISI Surakarta
- : menunjukkan daerah pelayanan yang meliputi RW 10, RW 11, RW 12, RW 13, RW 14 Kelurahan Jebres Surakarta

3.3 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan adalah data sekunder yang berasal dari konsultan pembangunan IPAL dan data hasil pengujian di Laboratorium Teknik Penyehatan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Adapun data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

1. Data proses pengolahan di IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta.
2. Data pengujian kualitas air di aliran *inlet* dan *outlet* IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta.
3. Gambar desain IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta.

4. Data yang lain seperti desain kriteria perencanaan, SOP (Standar Operasional Prosedur) guna melengkapi untuk memperlancar proses penelitian dan penulisan Tugas Akhir.

3.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam pengumpulan dan penganalisaan data adalah sebagai berikut :

1. Metode Studi Observasi

Dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung meliputi pengamatan proses pengolahan yang ada di IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta.

2. Metode Literatur

Dilakukan dengan cara membaca buku referensi yang berhubungan dengan IPAL.

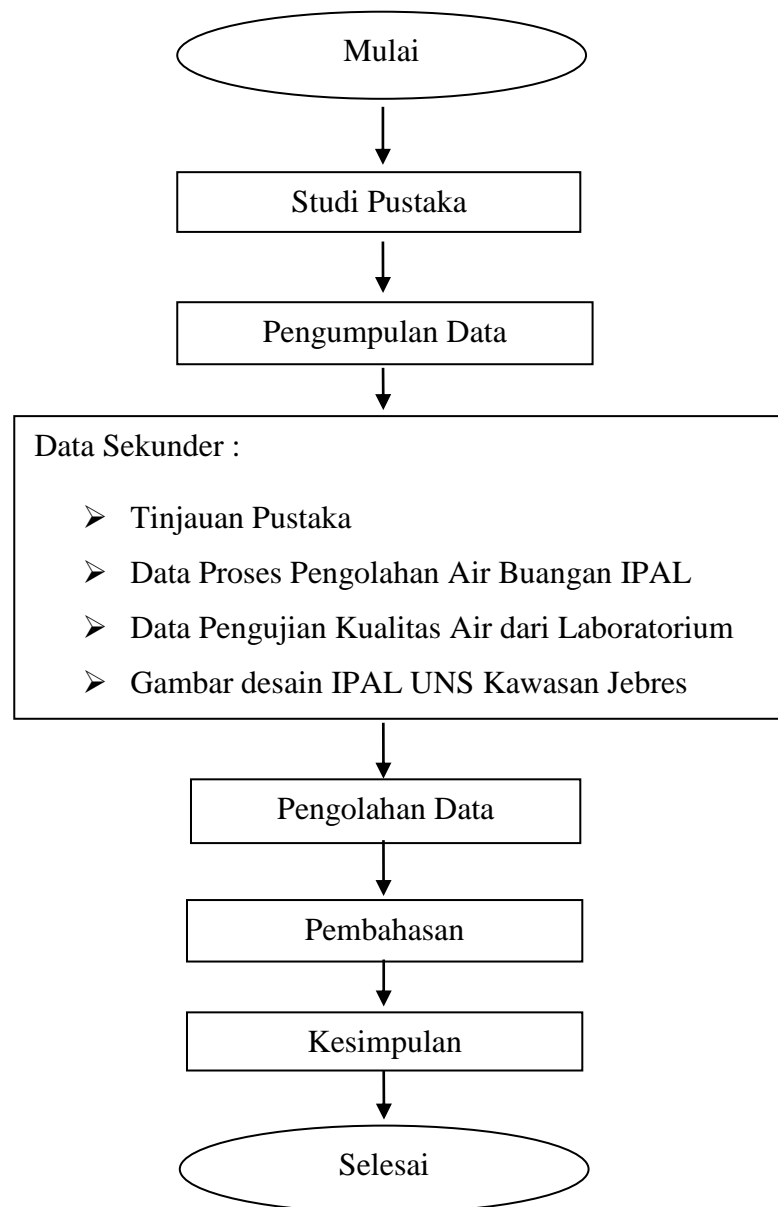
3. Melakukan analisis data dari berbagai pengumpulan data yaitu data proses pengolahan, hasil pengujian laboratorium, dan kriteria desain perencanaan sehingga memperoleh hasil.

3.5 Analisis Data

Seluruh data atau informasi yang telah terkumpul kemudian diolah atau dianalisis untuk mendapatkan hasil akhir mengenai proses pengolahan air buangan di IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta kemudian menyimpulkan untuk melakukan tindakan pengolahan lebih lanjut apabila hasil evaluasi diambang batas kelayakan. Penelitian ini disusun dalam diagram alir seperti pada Gambar 3.2.

3.6 Diagram Alir

Adapun urutan dalam analisis data dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini:



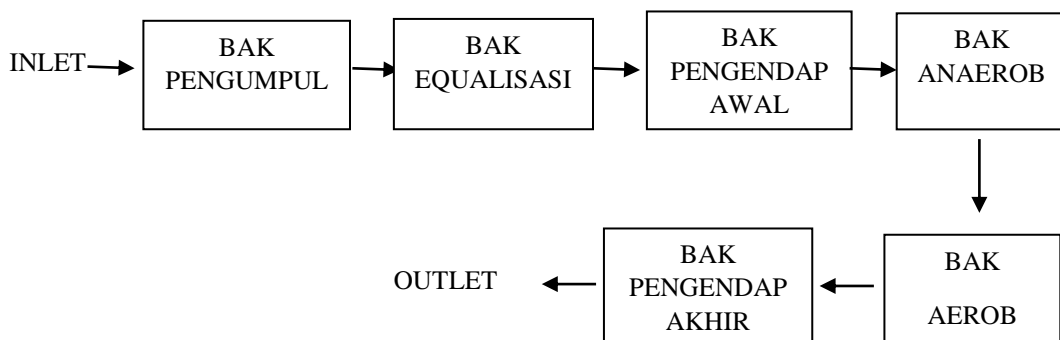
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Unit Operasi IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) UNS Kawasan Jebres Surakarta dibangun karena terjadi penurunan kualitas sungai dan limbah cair domestik eksternal yang menimbulkan bau tidak sedap dalam lingkungan sekitar kampus UNS. IPAL UNS Kawasan Jebres akan melayani limbah yang berasal dari permukiman yang berasal dari Kelurahan Jebres, dan dari kamar mandi kampus UNS dengan urutan sistem pengolahan air buangan seperti pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4. 1 Urutan Proses Pengolahan IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta

(Sumber: Tim Konsultan IPAL UNS)

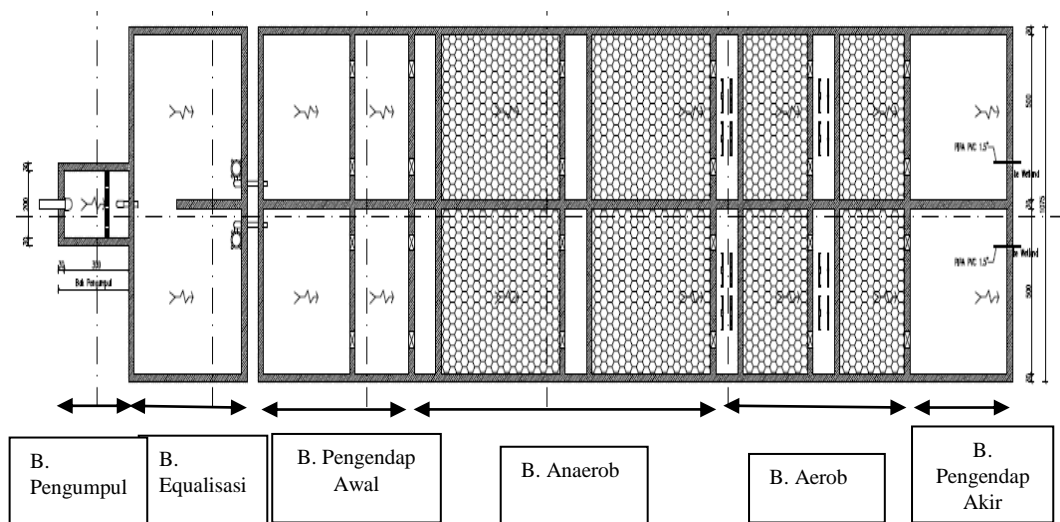
IPAL Kota Surakarta terbagi atas tiga lokasi yaitu IPAL Mojosongo yang melayani Kota Surakarta bagian Utara, IPAL Semanggi yang melayani Kota Surakarta bagian Selatan, dan IPAL Pucangsawit yang melayani Kota Surakarta bagian Tengah.

Kelurahan Jebres yang akan dilayani oleh IPAL UNS Kawasan Jebres ini merupakan daerah yang tidak dapat terjangkau oleh pelayanan air buangan Kota Surakarta bagian Tengah, karena memiliki kontur yang lebih rendah berbentuk cekung seperti mangkuk. Kelurahan Jebres memiliki jumlah penduduk pada

Tahun 2015 sebesar 33.587 jiwa dan yang akan terlayani pada 5 RW khususnya RW 10, RW 11, RW 12, RW 13, dan RW 14 adalah 4.550 jiwa atau sekitar 13,55 % dari total penduduk Kelurahan Jebres.

4.2 Hasil Pengumpulan Data

Data yang diperoleh berupa gambar denah IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4. 2 Denah IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta

Dan data kriteria desain perencanaan dari IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta yaitu :

1. Bak Pengumpul
 - a. Konstruksi beton bertulang
 - b. Dimensi 3 x 2 x 1,65 m
 - c. Volume 10 m³
 - d. Waktu tinggal 12 menit
 - e. Berfungsi sebagai bak tampungan awal limbah

2. Bak Equalisasi
 - a. Konstruksi beton bertulang
 - b. Dimensi 10,3 x 5 x 1,63 m
 - c. Volume 84 m³
 - d. Waktu tinggal 1,5 jam
 - e. Berfungsi sebagai penyeragaman kuantitas aliran
3. Bak Pengendap Awal
 - a. Konstruksi beton bertulang yang terdiri dari 2 kompartemen
 - b. Dimensi 10,3 x 6,5 x 2,5 m
 - c. Volume 167 m³
 - d. Waktu tinggal 3 jam
 - e. Berfungsi untuk pengendapan partikel diskrit
4. Bak Filter Anaerob
 - a. Konstruksi beton bertulang yang terdiri dari 2 kompartemen
 - b. Dimensi 10,3 x 13 x 2,2 m
 - c. Volume 295 m³
 - d. Waktu tinggal 6 jam
 - e. Dilengkapi dengan media sarang tawon
 - f. Berfungsi untuk mendekomposisi materi organik secara anaerob
5. Bak Filter Aerob
 - a. Konstruksi beton bertulang yang terdiri dari 2 kompartemen
 - b. Dimensi 10,3 x 8 x 2,2 m
 - c. Ada 80 diffuser (tiap kompartemen 20 diffuser)

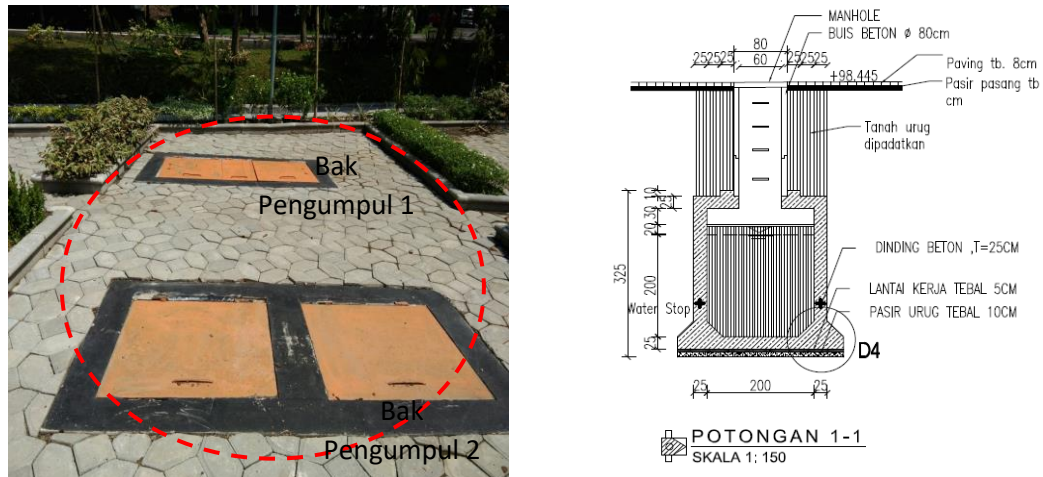
- d. Volume 181 m³
 - e. Waktu tinggal 3,6 jam
 - f. Dilengkapi dengan blower dan sarang tawon
 - g. Berfungsi untuk mendekomposisi materi organik secara aerob
6. Bak Pengendap Akhir
- a. Konstruksi beton bertulang
 - b. Dimensi 10,3 x 4,4 x 2,2 m
 - c. Volume 100 m
 - d. Waktu tinggal 2 jam
 - e. Berfungsi untuk mengendapkan lumpur dari aerobik filter

4.3 Sistem Pengolahan IPAL Universitas Sebelas Maret

Proses pengolahan air buangan di IPAL Universitas Sebelas Maret meliputi beberapa tahap antara lain :

4.3.1 Bak Pengumpul

Air buangan yang berasal dari sambungan rumah dari Kelurahan Jebres khususnya RW 10 – RW 14 dan air buangan dari toilet yang berada di kampus UNS akan ditampung sementara di bak pengumpul. Bak kontrol pada sambungan di tiap-tiap bangunan telah dilengkapi dengan sistem *grease trap*. Pada bak pengumpul juga dilengkapi dengan *fine screen* sehingga sampah diharapkan tidak masuk ke dalam bak equalisasi dan jagan mengganggu kinerja pompa. Kemudian dari bak pengumpul mengalir ke bak equalisasi.



Gambar 4. 3 Bak Pengumpul

Keterangan :

Bak Pengumpul 1 : masih terdiri dari air buangan yang berbentuk padat

Bak pengumpul 2 : terdiri dari air buangan yang siap diolah ke bak equalisasi

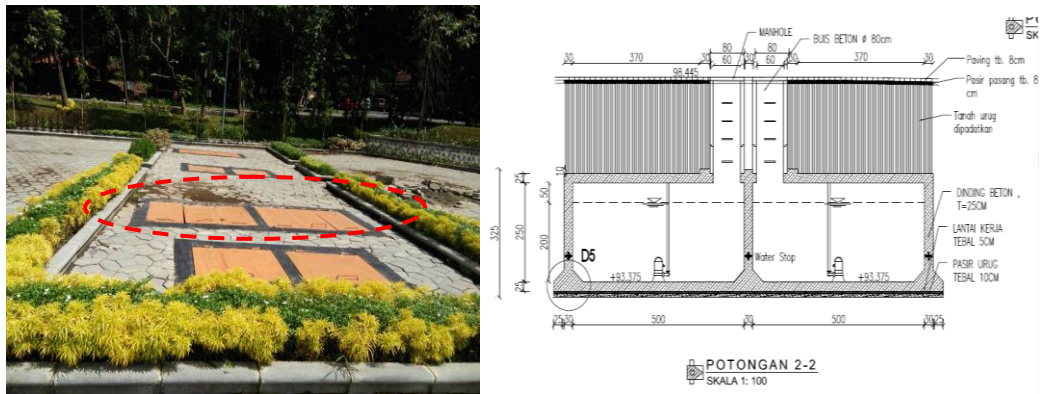
4.3.2 Bak Equalisasi

Bak equalisasi berfungsi agar aliran menuju IPAL stabil baik debit maupun fluktuasi konsentrasi limbah sehingga pengolahan bisa optimal dan tidak terjadi *shock loading*. Bak equalisasi bukan merupakan suatu proses pengolahan tetapi merupakan suatu cara atau teknik untuk meningkatkan efektivitas dari proses pengolahan selanjutnya. Keluaran dari bak equalisasi adalah parameter operasional bagi unit pengolahan selanjutnya seperti *flow*, level atau derajat kandungan polutan, temperatur, padatan, dan sebagainya. Tujuan dari bak equalisasi adalah sebagai berikut:

- Membuat kontinyu debit limbah yang akan diolah di IPAL (membagi dan meratakan volume pasokan *influent* untuk masuk pada proses pengolahan air buangan.
- Menstabilkan karakteristik limbah dan fluktuasi dari beban organik untuk menghindari *shock loading* pada sistem pengolahan biologi.
- Meratakan pH untuk menjaga pengolahan secara biologis.

- d. Meratakan kandungan padatan (*suspended solid*, koloid, dan lain-lain) untuk menjaga pengolahan biologis pada proses selanjutnya.

Bak equalisasi dilengkapi dengan 2 buah pompa *submersible*. Apabila dalam bak equalisasi mencapai level 200 cm maka pompa akan otomatis menyala dan mengalirkan air buangan dari bak equalisasi ke bak pengendap awal. Jika level air di bak equalisasi mencapai 50 cm, maka pompa secara otomatis akan mati. Terdapat 2 unit pompa aktif, dan 2 *standby* untuk cadangan. Diperlukan 2 unit pompa karena pengolahan selanjutnya dilakukan secara paralel menuju ke bak pengendap awal.



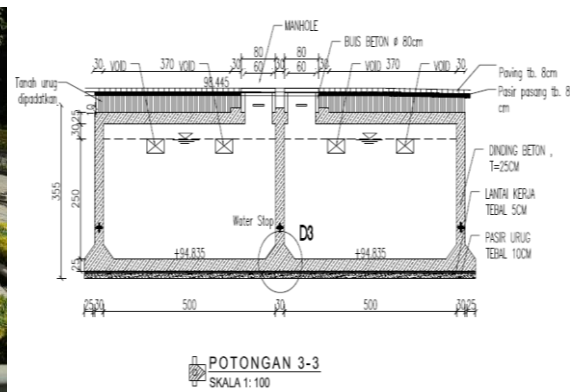
Gambar 4. 4 Bak Equalisasi

4.3.3 Bak Pengendap Awal

Bak pengendap awal berfungsi untuk mengendapkan partikel lumpur, pasir dan kotoran organik tersuspensi serta menguraikan senyawa organik yang berbentuk padatan, *sludge digestion* (pengurai lumpur), dan penampung lumpur.

Air buangan dari bak equalisasi dipompa menuju ke bak pengendap awal ini. Pengecekan terhadap air buangan di pipa *inlet* dari pompa dilakukan setiap 2 kali sehari yaitu pagi dan sore hari. Tujuannya yaitu untuk memastikan pompa berfungsi dengan baik mengalirkan air buangan dari bak equalisasi. Lumpur yang dihasilkan ditampung di ruang lumpur yang terdapat di bagian dasar unit ini. Pengurasan terhadap endapan yang terdapat di dasar bak pengendap awal dapat dilakukan setiap 1-2 tahun sekali dimana proses pengurasan lumpur menggunakan

vakum truck. Pengurasan lumpur dapat dilakukan dengan bekerjasama dengan PDAM Kota Surakarta.



Gambar 4. 5 Bak Pengendap Awal

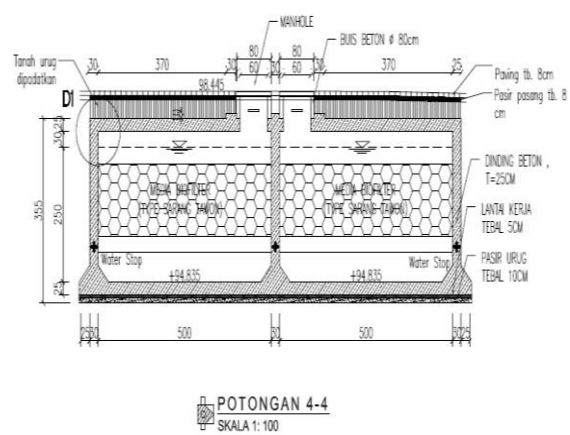
4.3.4 Bak Biofilter Anaerob

Bak biofilter anaerob dioperasikan untuk mendegradasi air buangan secara anaerob. Biofilter dilengkapi dengan sarang tawon sebagai media tumbuh dan melekatnya bakteri dalam mendegradasi zat organik dari limbah cair.

Pengoperasian dimulai dengan memasukkan *seeding* dan air, kemudian mendiamkan ± 2 hari. Mengecek pipa *inlet* dan *outlet* pada kolam anaerobik filter. Setelah dipastikan dalam kondisi baik, baru dilakukan pengaliran air buangan ke dalam bak anaerobik untuk selanjutnya diolah.

Pengecekan terhadap pipa *inlet* dan *outlet* harus dilakukan setiap 2 kali sehari yaitu pagi dan sore hari. Tujuannya yaitu untuk memastikan tidak tersumbat oleh sampah yang akan mengganggu aliran limbah.

Lumpur yang mengendap didekomposisi secara anaerob. Karena terjadi pengendapan, maka pada dasar IPAL akan terkumpul lumpur endapan. Volume lumpur ini semakin lama semakin banyak sehingga mengurangi daya tampung pada tangki tersebut. Untuk itu secara periodik lumpur harus dicek, jika sudah menumpuk di dasar baik dan mengganggu pengaliran harus segera disedot dan dikeluarkan.



Gambar 4. 6 Bak Biofilter Anaerob

4.3.5 Bak Biofilter Aerob

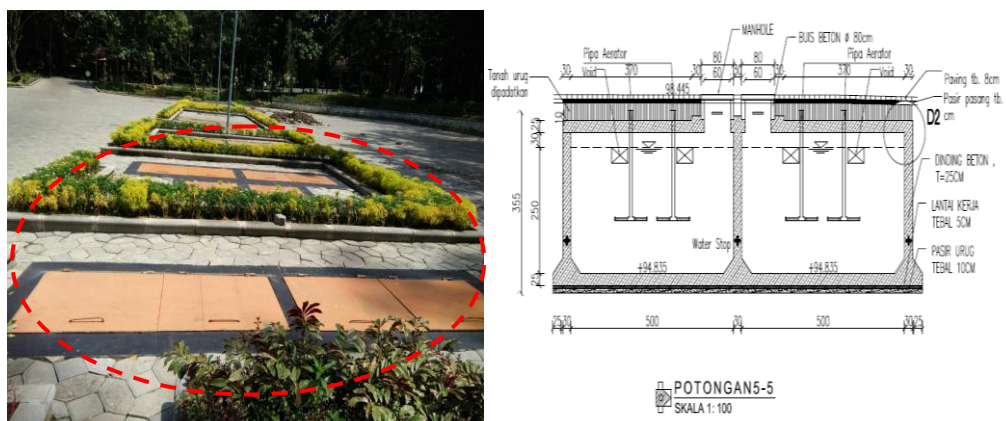
Sama halnya dengan bak biofilter anaerob, bak biofilter aerob juga dioperasikan untuk mendegradasi air buangan, namun secara aerob. Suplai udara menggunakan blower yang terletak pada rumah genset, terdapat 2 unit blower yang dioperasikan secara bergantian. Untuk menyalurkan oksigen pada limbah menggunakan diffuser yang tercelup pada air buangan dengan pipa.

Agar sistem aerasi dapat merata ke seluruh ruangan bak aerasi di setiap reaktor, maka diperlukan diffuser udara yang ditanam di dasar bak aerasi. Aliran udara diatur dengan pengaturan pada setiap *gate valve* yang dipasang pada sistem perpipaan udara agar dapat memberikan kondisi aerasi yang merata ke seluruh area kolam aerasi. Udara yang dibutuhkan untuk proses aerasi dan untuk memenuhi kebutuhan reaksi oksidasi dalam proses pengolahan air buangan, disuplai dari blower udara.

Unit IPAL ini dilengkapi dengan 2 buah blower udara. Blower dioperasikan bergantian secara terus menerus (kontinyu). Periode operasional blower dilakukan setiap 4 (empat) jam sekali. Blower 1 dan 2 dihidupkan bergantian, empat jam blower 1 berjalan kemudian bergantian blower 2 yang berjalan. Apabila terjadi beban air buangan yang berlebih, disarankan untuk menghidupkan blower keduanya.

Pengoperasian dimulai dengan memasukkan *seeding* dan air kemudian diamkan \pm 2 hari. Chek pipa inlet dan outlet pada kolam aerobik filter. Setelah dipastikan dalam kondisi baik, baru dilakukan pengaliran air limbah ke dalam bak aerobik untuk selanjutnya diolah. Pengecekan terhadap pipa inlet dan outlet harus dilakukan setiap 2 kali sehari, yaitu pagi dan sore hari. Tujuannya yaitu untuk memastikan tidak tersumbat oleh sampah yang akan mengganggu aliran limbah.

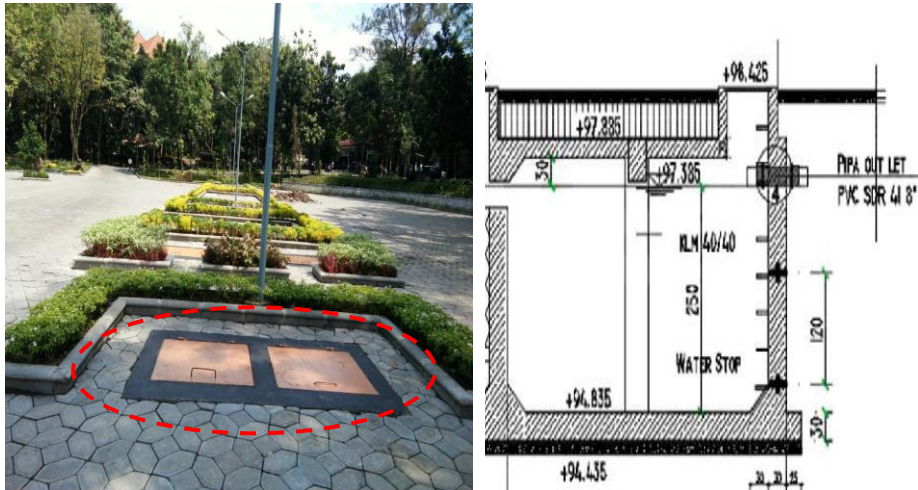
Karena terjadi pengendapan, pada dasar IPAL akan terkumpul lumpur endapan. Volume lumpur ini semakin lama semakin banyak sehingga mengurangi daya tampung pada tangki tersebut. Untuk itu maka secara periodik lumpur harus dicek, jika sudah menumpuk di dasar bak dan mengganggu pengaliran harus segera disedot dan dikeluarkan. Pada saat dilakukan pengurasan, dapat dilakukan pembersihan diffuser yang ada. Pembersihan diffuser dapat dilakukan minimal 1 kali dalam 1 tahun.



Gambar 4. 7 Bak Biofilter Aerob

4.3.6 Bak Pengendap Akhir

Bak pengendap akhir berfungsi untuk mengendapkan partikel air buangan yang belum terendapkan pada pengolahan sebelumnya. Karena effluent air buangan dari biofilter aerob masih mengandung lumpur dan partikel organik sehingga diperlukan ruang untuk mengendapkannya. Dengan adanya bak pengendap akhir maka effluent yang dihasilkan akan memiliki kandungan lumpur yang lebih sedikit. Perbedaan kriteria desain bak pengendap awal dengan bak pengendap akhir hanya terletak pada nilai beban permukaan.



Gambar 4. 8 Bak Pengendap Akhir

4.4 Kinerja IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta

Hasil pengujian fisika dan kimia IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta yang dilakukan di Laboratorium Teknik Penyehatan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret dengan membandingkan parameter menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

Sampel *inlet* yang digunakan untuk pengujian adalah bak pengumpul. Dapat dilihat pada Gambar 4.9 di bawah ini.



Gambar 4. 9 Air Sampel pada Bak Pengumpul

Sedangkan sampel *outlet*nya adalah bak pengendap akhir. Dapat dilihat pada Gambar 4.10 di bawah ini.



Gambar 4. 10 Air Sampel pada Bak Pengendap Akhir

Pengujian sampel pada air buangan domestik IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta dilakukan di Laboratorium Teknik Penyehatan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta, dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut ini.



a. Pengujian COD permanganat



b. Pengujian TSS

Gambar 4. 11 Pengujian Sampel di Laboratorium

Adapun hasil pengujian pada air buangan domestik IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sampel *Inlet* dan *Outlet* IPAL UNS Maret 2017

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji		Metode Uji
			<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>	
	FISIKA				
1	Suhu	°C	30	29	SNI 06-6989.23-2005
2	TSS	mg/L	50,5	28,5	SNI 06-6989.3-2004
	KIMIA				
3	pH	-	5	7	SNI 06-6989.11-2004
4	BOD	mg/L	42,008	13,440	SNI 6989.72-2009
5	COD permanganat	mg/L	189,6	94,8	SNI 6989.2-2009

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sampel *Inlet* dan *Outlet* IPAL UNS April 2017

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji		Metode Uji
			<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>	
	FISIKA				
1	Suhu	°C	28	29	SNI 06-6989.23-2005
2	TSS	mg/L	64	29,5	SNI 06-6989.3-2004
	KIMIA				
3	pH	-	6	7	SNI 06-6989.11-2004
4	BOD	mg/L	33,241	9,259	SNI 6989.72-2009
5	COD permanganat	mg/L	164,32	85,952	SNI 6989.2-2009

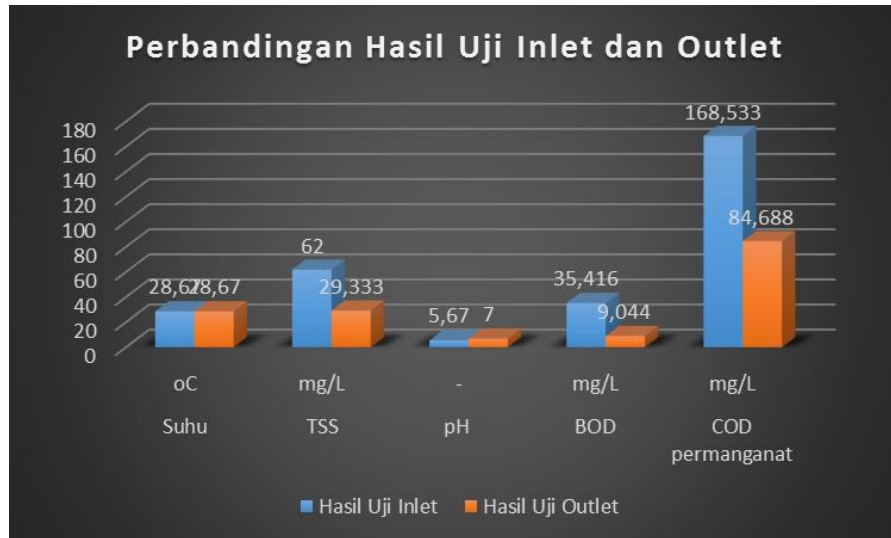
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sampel *Inlet* dan *Outlet* IPAL UNS Mei 2017

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji		Metode Uji
			<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>	
	FISIKA				
1	Suhu	°C	28	28	SNI 06-6989.23-2005
2	TSS	mg/L	71,5	30	SNI 06-6989.3-2004
	KIMIA				
3	pH	-	6	7	SNI 06-6989.11-2004
4	BOD	mg/L	31	4,432	SNI 6989.72-2009
5	COD permanganat	mg/L	151,680	73,312	SNI 6989.2-2009

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sampel *Inlet* dan *Outlet* IPAL UNS rata-rata Maret-Mei 2017

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji		Metode Uji
			<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>	
	FISIKA				
1	Suhu	°C	28,67	28,67	SNI 06-6989.23-2005
2	TSS	mg/L	62	29,333	SNI 06-6989.3-2004
	KIMIA				
3	pH	-	5,67	7	SNI 06-6989.11-2004
4	BOD	mg/L	35,416	9,044	SNI 6989.72-2009
5	COD permanganat	mg/L	168,533	84,688	SNI 6989.2-2009

Dari data pengujian fisika dan kimia tersebut dapat dibuat diagram perbandingan antara hasil uji *inlet* dan *outlet* yang dapat dilihat seperti Gambar 4.12 di bawah ini.



Gambar 4. 12 Diagram Perbandingan Hasil Uji Inlet dan Outlet

Hasil pengamatan yang dilakukan oleh Laboratorium Teknik Penyehatan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta dengan membandingkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik seperti di bawah ini:

1. Parameter Fisika

a. Suhu

Dari hasil yang diperoleh nilai suhu pada *inlet* sebesar 28,67 °C dan nilai suhu pada *outlet* sebesar 28,67 °C. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 10 Tahun 2014 bahwa suhu yang telah ditetapkan kadar maksimumnya sebesar 38 °C. Sehingga dapat diketahui bahwa limbah cair yang keluar dari IPAL UNS Kawasan Jebres sudah memenuhi persyaratan baku mutu air limbah domestik.

b. TSS (*Total Suspended Solid*)

Dari hasil uji laboratorium diperoleh hasil bahwa sampel air *inlet* sebesar 62 mg/L dan sampel air *outlet* sebesar 29,333 mg/L. Berdasarkan syarat maksimum yang diperbolehkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah domestik yaitu 100 mg/L dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik syarat maksimum yang diperbolehkan adalah 30 mg/L sehingga sudah memenuhi persyaratan dan layak untuk dibuang ke badan air penerima.

2. Parameter Kimia

a. pH

Dari hasil pengujian yang diperoleh diketahui bahwa sampel air *inlet* mempunyai pH sebesar 5,67 dan sampel air *outlet* mempunyai pH sebesar 7. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik syarat maksimum yang diijinkan yaitu antara 6-9, sehingga sudah memenuhi persyaratan dan layak dibuang ke badan air penerima.

b. BOD

Dari hasil penelitian di laboratorium, BOD (*Biological Oxygen Demand*) sampel air *inlet* sebesar 35,416 mg/L dan *outletnya* sebesar 9,044 mg/L. Hal ini menunjukkan zat organik yang terdapat dalam air limbah cair dapat teroksidasi dan terurai dengan suhu 28,67 °C. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah domestik syarat maksimum yang diijinkan yaitu 100 mg/L dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik syarat maksimum yang diijinkan yaitu 30 mg/L. Sehingga air limbah yang keluar dari IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta sudah memenuhi persyaratan dan layak dibuang ke badan air penerima.

c. COD permanganat

Dari hasil yang diperoleh nilai COD permanganat pada sampel *inlet* sebesar 168,533 mg/L sedangkan sampel *outlet* sebesar 84,688 mg/L. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik syarat maksimum yang diijinkan yaitu 100 mg/L. Sehingga air limbah yang keluar dari IPAL UNS Kawasan Jebres sudah memenuhi persyaratan dan layak dibuang ke badan air penerima.

4.5 Efisiensi IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta

Nilai efisiensi pengolahan COD, BOD dan TSS IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots(4.1)$$

Dengan :

E = Efisiensi (%),

C = Konsentrasi efluen (mg/l),

C₀ = Konsentrasi influen (mg/l).

Perhitungan :

a. Efisiensi COD

$$E = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100\%$$

$$E = \frac{(COD \text{ masuk} - COD \text{ keluar})}{COD \text{ masuk}} \times 100\%$$

$$E = \frac{(168,533 - 84,688)}{168,533} \times 100\%$$

$$= 49,75 \%$$

b. Efisiensi BOD

$$E = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100\%$$

$$E = \frac{(BOD \text{ masuk} - BOD \text{ keluar})}{COD \text{ masuk}} \times 100\%$$

$$E = \frac{(35,416 - 9,044)}{35,416} \times 100\%$$

$$= 74,46 \%$$

c. Efisiensi TSS

$$E = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100\%$$

$$E = \frac{(TSS \text{ masuk} - TSS \text{ keluar})}{TSS \text{ masuk}} \times 100\%$$

$$E = \frac{(62 - 29,33)}{62} \times 100\%$$

$$= 52,69 \%$$

Efisiensi pengolahan COD dari hasil perhitungan di atas adalah 49,75 %. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengolahan air buangan di IPAL UNS Kawasan Jebres belum berlangsung dengan baik karena masih di bawah 50 %.

Menurut Metcalf & Eddy efisiensi pengolahan BOD adalah 60-90%. Dari hasil perhitungan efisiensi dapat diketahui bahwa efisiensi BOD pada IPAL UNS Kawasan Jebres yaitu 74,46% sehingga dapat dikatakan bahwa proses pengolahan air buangan di IPAL UNS Kawasan Jebres sudah berlangsung dengan baik.

Efisiensi pengolahan TSS menurut Metcalf & Eddy yaitu 50-70%. Dari hasil perhitungan efisiensi di atas dapat diketahui bahwa efisiensi TSS pada IPAL UNS Kawasan Jebres yaitu 52,69% sehingga dapat dikatakan bahwa proses pengolahan cukup baik.

Menurut kriteria desain perencanaan, total efisiensi yang diharapkan adalah 90-95 %, sedangkan menurut penelitian efisiensi COD sebesar 49,75 %, efisiensi BOD sebesar 74,46 %, dan efisiensi TSS sebesar 52,69 % sehingga dapat dikatakan bahwa proses pengolahan IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta sudah berlangsung dengan baik, namun masih di bawah kriteria desain yang diharapkan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari Tugas Akhir ini yaitu sebagai berikut :

1. Proses pengolahan air limbah domestik di IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta yaitu air buangan akan ditampung sementara di bak pengumpul, kemudian menuju ke bak equalisasi yang berfungsi sebagai penyeragaman kuantitas aliran limbah. Setelah itu, menuju ke bak pengendap awal yang berfungsi mengendapkan partikel lumpur, pasir, dan kotoran organik. Proses selanjutnya adalah bak biofilter anaerob yang dilengkapi sarang tawon sebagai media tumbuh dan melekatnya bakteri dalam mendegradasi zat organik dari limbah cair. Dari bak biofilter anaerob lalu menuju bak biofilter aerob yang berfungsi mendegradasi materi organik secara aerob. Setelah itu bak pengendap akhir yang berfungsi mengendapkan partikel air buangan yang belum terendapkan pada pengolahan sebelumnya dengan waktu tinggal mulai dari bak pengumpul sampai bak pengendap akhir kurang lebih 16 jam. Proses utama terdapat pada biofilter anaerob dan biofilter aerob dengan waktu tinggal selama 9,7 jam.
2. a. Hasil pengujian di laboratorium pada aliran *inlet* dengan suhu, pH, TSS (zat padat tersuspensi), COD permanganat, dan BOD berturut-turut yaitu 28,67 °C, 5,67, 62 mg/L, 168,533 mg/L, dan 35,416 mg/L. Dan pada aliran *outlet* dengan suhu, pH, TSS (zat padat tersuspensi), COD permanganat, dan BOD berturut-turut yaitu 28,67 °C, 7, 29,333 mg/L, 84,688 mg/L, dan 9,044 mg/L. Berdasarkan hasil pengujian kualitas air limbah di IPAL UNS Kawasan Jebres Surakarta sudah memenuhi peraturan baku mutu air limbah dan layak dibuang ke badan air penerima yaitu Sungai Bengawan Solo.

b. Dari hasil pengujian, nilai efisiensi pada COD permanganat, BOD, dan TSS berturut-turut yaitu 49,75 %, 74,46 %, dan 52,69 %.

5.2 Saran

Kepada pihak-pihak yang terkait, sebaiknya mencegah material sampah tidak masuk ke bak pengumpul agar tidak mengganggu proses pengolahan air limbah domestik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim 1. 1999. *Pengelolaan Air Buangan*. Diakses tanggal 19 Februari 2017. <https://www.slideshare.net/metrosanita/teknologi-dan-sistem-pengelolaan-air-limbah-terpusat-spalt>
- Alabaster, J. S. dan R. Lloyd, 1982. *Water Quality Criteria for Freshwater Fish, Food and Agricultural Organization of the United Nation*. London: Boston.
- Asmadi dan Suharno. 2012. *Dasar-dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- Bambang, Widigdo. 1996. *Limnologi*. Laboratorium Limnologi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Christian, G.D., 2003. *Analytical Chemistry 6th Edition*. New York: John Wiley & Sons Incorporation.
- Ginting, Perdana. 2007. *Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri*. Bandung: CV. Yrama Widya.
- Hardjosuprpto, Moh Masduki. 2000. *Penyaluran Air Buangan (PAB) Volume II*. Bandung: ITB.
- Joy Irman. 2015. *Sistem Pengolahan Air Limbah secara Biologis*. <http://sanitasi.net/sistempengolahanairlimbahsecarabiologis.html>, 30 Januari 2017
- Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 3th ed New York: McGraw Hill Companies, Inc.
- _____. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 4th ed New York: McGraw Hill Companies, Inc.
- Moduto. 1998. *Drainase Perkotaan Volume 1*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Nopiah. 2016. *Prediksi Umur Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Mojosongo Surakarta*. Tugas Akhir. Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

- Pradani, Afifaturrohman Tri. 2016. *Pengolahan Air Limbah Domestik Di Ipal Semanggi Kota Surakarta*. Tugas Akhir. Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Said, N. I. dan Wahjono, H. D. 1999. *Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Dengan Sistem Biofilter Anerob-Aerob*. Jakarta: BPPT.
- Said, N, I. *Teknologi Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilm Tercelup*. <http://kelair.bppt.go.id>, 13 Februari 2017.
- Soeparman, H.M. 2002. *Pembuangan Tinja dan Limbah Cair : Suatu Pengantar*. Jakarta: EGC.
- Soeparman dan Suparmin. 2002. *Pembuangan Tinja dan Limbah Cair Suatu Pengantar*. Jakarta: EGC.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: UI Press.
- Syed R, Qasyim. 1985. *Wastewater Treatment Plants, Planning, Design, and Operation*. Holt, Rinerhart, and Winston, CBS Collge Publishing.
- Tchobanoglous, G. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. New York: McGraw.
- Tchobanoglous, G., F. L. Burton, dan H. D. Stensel. 2003. *Waste Water Engineering: Treatment and Reuse*. Metcalf & Eddy Inc. New York.
- Tim Konsultan IPAL UNS. 2015. *Laporan Akhir Perencanaan Teknis Sistem Air Limbah IPAL Kawasan Kota Surakarta*. Laporan Akhir CV. Piramida Kreasi Mandiri.
- Wahyu Widayat dan Nusa Idaman Said. 2005. *Rancang Bangun IPAL Rumah Sakit dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob*. Jakarta: BPPT Vol. 1 No. 1.

